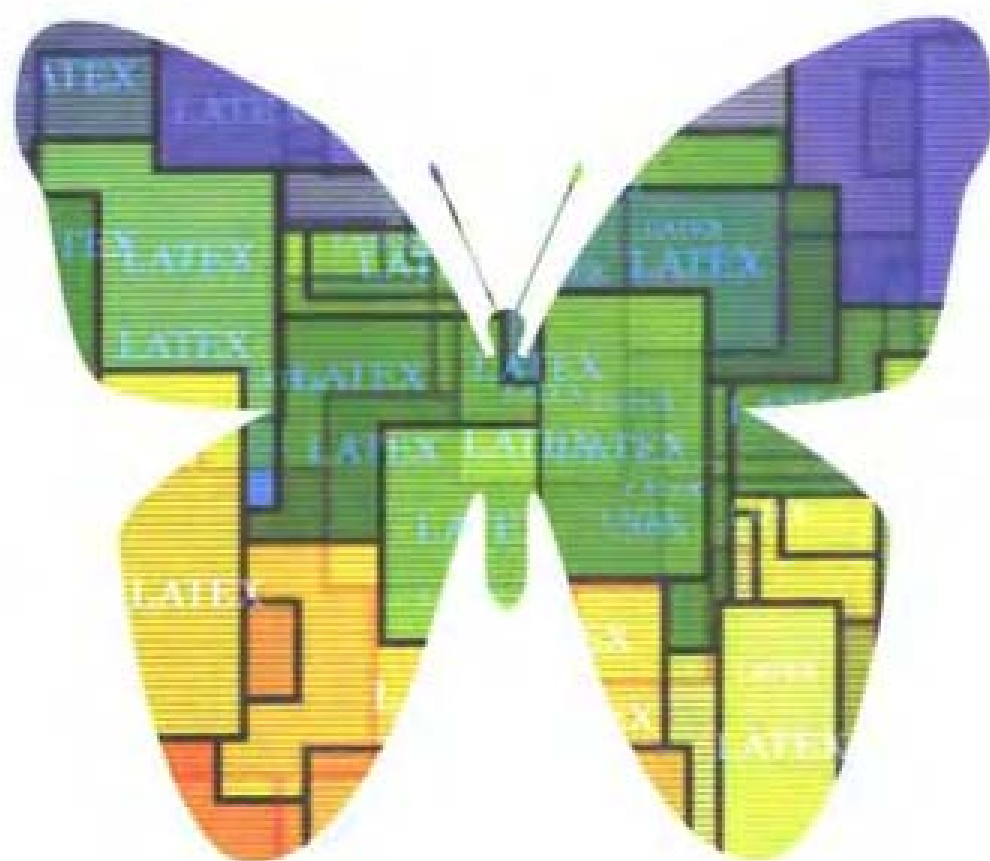


Broadview
WWW.BROADVIEW.COM.CN

排版软件LATEX简明手册

(第二版)

罗振东 葛向阳 编 著



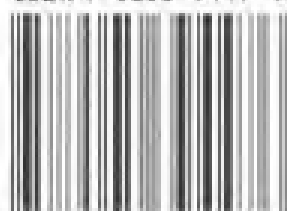
電子工業出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

LATEX 软件是目前高质量的主要用于科学技术性文档的出版的中英文排版软件, 广泛地用于制作科技文章、书籍、档案、学位论文、手稿和私人信件, 以及各种复杂的符号公式、外文(英文之外的语言, 如法文、德文、希腊文、俄文等)、目录、参考文献、索引和脚注。LATEX 实际上已经成为科技文件的出版和交流的标准。

```
\documentclass{book}
\title{排版软件LATEX 简明手册}
\date{March 2004}
\begin{document}
  \makefile
  Hello Everybody!
  Best wishes from BROADVIEW!
\end{document}
```

ISBN 7-5053-9447-9



9 787505 394476 >



责任编辑: 孙学瑛
封面设计: 张子建

本书贴有激光防伪标志, 凡没有防伪标志者, 属盗版图书。

ISBN 7-5053-9447-9 定价: 32.00 元

排版软件 LATEX 简明手册

(第二版)

罗振东 葛向阳 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本手册主要介绍最新的汉化 LATEX 2 ϵ (即 CCT) 排版系统软件的基本知识和使用方法, 以及 LATEX 2 ϵ 的扩展功能。内容包括 LATEX 的源文件的基本结构、编译、显示和打印方法; LATEX 中有关的文章形式, 各种特殊字符, 环境等的详细命令; 各种数学公式的输入实例及 LATEX 的工作环境、使用技巧; 各种图形图像的输入方法; 字库的结构和新字库存的产生方法; DVI 文件转换为 PS 文件的方法; 错误信息处理等。本手册还分别给出了两篇中英文文章的文本源文及其排版结果, 以供读者参考。

本手册内容精炼, 实例丰富, 可作为相关专业的教材, 尤其适合作为广大科技工作者和出版排印工作者使用 LATEX 排版系统时的参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

排版软件 LATEX 简明手册/罗振东, 葛向阳编著. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2004.3
ISBN 7-5053-9447-9

I. 排… II. ①罗… ②葛… III. 排版—应用软件, LATEX IV. TS803.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 112508 号

责任编辑: 孙学瑛

印 刷: 北京增富印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.75 字数: 456 千字

印 次: 2004 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 32.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。
联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

修 订 说 明

本书在第一版问世两年多来, 得到广大读者的厚爱, 使得该书成为国内畅销的工具书, 并很快脱销。现在应广大读者的要求, 重新修订再版。在这次再版中, 我们对部分内容进行了适当的修改, 并适当增加了内容, 以便读者更容易掌握使用 LATEX 排版, 成为 LATEX 排版高手。

本书修订主要包括几个部分:

1. 在第 1 章后加上了一个附注, 用以说明新版 CTEX 的使用;
2. 第 5 章的内容做了大量的更改, 以适用目前计算机发展的排版;
3. 第 7 章加上了 7.5 节, “BMP 图像的插入技术”;
4. 第 1 ~ 12 章和附录, 将过去的一些错漏都一一做了订正。

罗振东

2003. 10. 6

序 言

LATEX 软件的功能及其特点

LATEX 软件最早是由 Leslie Lamport 设计的, 它由 Donald E.Kauth 的程序发展而来。中英文 LATEX (CCT) 是 LATEX 的汉化版本, 它是目前国内流行的中英文排版软件, 特别适合于科技文章、书籍的制作。科技人员可以在计算机上生成与印刷品几乎完全一样的作品。国外, LATEX 软件早已广泛地用于制作科技文章、书籍、档案、学位论文、手稿和私人信件, 以及各种复杂的符号公式、外文 (英文之外的字母, 例如法文、德文、意文、希腊文、俄文等)、目录、参考文献、索引和脚注。它使得出版快速, 并生成质量很高的科技作品以交流科技信息。另外, 出版部门直接接收 LATEX 的电子文件, 然后进行激光照排, 以缩短出版周期。汉化的 LATEX 软件不仅保留了原软件西文字符的质量和排印数学公式的功能, 而且能输出印刷质量高的汉字。在当前国内排版软件竞争激烈的形势下, 汉化的 LATEX 软件的出现更具有挑战性。汉化的 LATEX 软件的基本命令与原版软件完全兼容, 汉字的输入也可以是常规的输入方法。本手册介绍的 LATEX 软件的基本命令和环境命令不仅适合于汉化软件, 而且也适合于原版软件。

LATEX 实际是 TEX 的宏命令, 这些宏命令能把各种复杂的数学公式系统化。许多数学符号, 例如上下标的大小等, 都可由系统自动制作, 这就给 LATEX 的用户带来了很大的方便。用户可以不用涉及文章的具体格式和印刷的要求, 只要按照规定给出这些确定的宏命令, 即可生成质量较高的作品。数学家和理论物理学家们往往会遇到极为复杂的数学公式, 排印好这些公式, 不仅对一般的排版人员来说是繁杂的, 而且对科技人员来说也不是一件轻易的事情。LATEX 软件提供的宏命令可方便地把各种复杂的公式系统化, 这就简化了复杂的数学公式的排印。凡是看过 LATEX 生成文稿的人, 都会对它的文稿质量感到很满意。与目前 Word 和 WPS 等通用的西文文字处理软件相比, 它在字符质量、排版功能和数学公式的排印方面均胜一筹。

LATEX 软件是一种叙述标记系统 (descriptive markup system), 不是可视标记系统, 不能直接看到输出的结果, 要在普通文件中加上说明语句用来说明输出的格式。叙述标记系统能自动转换数学公式的形式, 它的源文件是用 ASCII 码写的, 具有很好的可移植性, 并能用 E-mail 在不同的计算机之间传输。叙述标记系统中的说明语句也不同于专业印刷术语, 而是将那些高度专业化的术语用最简单的说明语句来代替。例如, 虽然可视标记系统简单, 但在排印一些复杂的数学公式时, 必须由作者调节字符大小、位置等, 这就要求作者有极为丰富的印刷排版经验, 对于普通人员来说这几乎是不可能的。虽然许多国内汉字软件都受到了广泛的欢迎, 但读者只要将 LATEX 排印出的数学公式和其他的中英文排印软件 (例如科印、华光等) 排印出的数学公式比较一下, 就会发现明显的不同。LATEX 排印出的中英文文章几乎无异于正式出版物, 这就是近年来一些出版社直接用 LATEX 出版杂志和书籍的原

因。一些出版社直接接收 LATEX 的源文件。例如国内的《计算数学》和《应用数学学报》等众多杂志，都要求作者提供 LATEX 源文件。当作者向国外出版社投稿时，也需按出版社的要求使用 LATEX 软件排版。

本手册的特点及其内容

LATEX 软件有众多的优越性，它已在国内开始流行。但在源文件输入时，需花费大量的时间，特别是数学公式的排印仍是一件很费时的工作。对于初学者来说，编译时特别容易出错而不能通过，常常使初学者灰心。可当你成功排印出一篇作品时，你就不会对消耗的精力感到后悔。我们编写本手册的目的是为了使读者能在尽可能短的时间内掌握 LATEX 排版技能，故本手册提供了大量数学公式的输入实例，在编排上采用对照方式以便于阅读，使初学者在不太熟悉 LATEX 软件时就能成功地利用该软件进行工作。因此本手册是为那些急于使用 LATEX 软件的科技人员，以及从未有过 LATEX 或者 TEX 的任何知识，而只有简单的计算机操作知识，但掌握了文本的输入方法的读者而写的。

本手册包括了大多数 LATEX 的命令和作者在使用 LATEX 中领悟到的一些经验，相信这些经验对初学者是有益的。本手册在安排上并没有首先介绍 LATEX 的工作原理和硬件环境，而是在第 1 章先给出 LATEX 的源文件的基本结构、编译、显示和打印方法，只要读者根据例子中的指导，就可以照葫芦画瓢地做出 LATEX 的作品，让读者在直接练习中逐步体会 LATEX 的使用方法。第 2 章和第 3 章介绍 LATEX 的文章形式、各种特殊字符、环境等的详细命令，读者只要按自己的需要找到对应的命令，就可以排印出相应的格式。其中的例文中未涉及复杂数学公式的排印，越复杂的公式涉及的工作量越大。为了减轻使用者的负担，尽快地掌握复杂公式和表格的制作方法，第 4 章给出了各种数学公式的输入实例，这将会帮助你尽快了解排印数学公式的方法。第 5 章和第 6 章分别介绍 LATEX 的工作环境和使用技巧。第 7，8 章着重介绍 LATEX 与各种图形图像格式文件的接入与应用。第 9 章介绍 LATEX3 小组开发的扩展宏文件使用方法。第 10 章将告诉读者 LATEX2 ϵ 的字库结构及如何产生新的字库。第 11 章讲解如何将 DVI 文件转换为 PostScript 文件。第 12 章介绍编译过程中常见的错误及其处理方法。最后的附录给出两篇中英文文章的文本源文件与排版结果，供读者参考。

本手册就是利用 CCT 排版系统编译和排版的。本手册中的所有公式和字符都经过实验。由于目前 LATEX 的版本也在不断地翻新，出现了许多新的宏命令，但与本手册介绍的基本命令兼容。读者在使用软件时请参考软件的说明书。

致谢

在本手册的编辑过程中，得到电子工业出版社的领导和编辑的大力支持和帮助，他们为编辑该书付出了极大的辛劳。同时，也得到了刘儒勋教授等专家的热情帮助，在此表示衷心的感谢。

限于作者水平，编写仓促，错误在所难免，恳请读者提出宝贵的意见。

编 者

目 录

第 1 章 中英文 LATEX 排版系统基本操作	(1)
1.1 LATEX 源文件的结构形式及其输入	(1)
1.2 LATEX 软件的运行方法	(2)
第 2 章 LATEX 字符与环境集	(8)
2.1 文字字符集	(8)
2.2 数学字符集	(8)
2.3 特殊字符与 LATEX 度量单位	(12)
2.4 LATEX 环境集	(14)
第 3 章 LATEX 命令集	(33)
3.1 文献形式命令 \documentstyle	(33)
3.2 字体命令	(34)
3.3 字号命令	(35)
3.4 文献头命令	(37)
3.5 章节命令	(40)
3.6 页注命令	(42)
3.7 正文版式命令	(44)
3.8 编号格式命令	(50)
3.9 计数器命令	(51)
3.10 数学格式命令	(53)
3.11 图表命令	(56)
3.12 符号命令	(69)
3.13 书信命令	(70)
3.14 打印控制命令	(73)
3.15 其他命令	(74)
第 4 章 数学公式和表格的输入与排印版式	(78)
4.1 LATEX 软件排印数学公式的功能	(78)
4.2 数学公式的输入和排印例子	(78)
4.3 表格的输入和排印例子	(97)
第 5 章 LATEX 运行环境	(100)
5.1 硬件环境	(100)

5.2	LATEX 软件环境	(100)
第 6 章	LATEX 使用的特殊技巧	(103)
6.1	宏命令	(103)
6.2	文献和图表的引用	(107)
6.3	索引和词典的制作	(109)
6.4	源文件模块化	(111)
第 7 章	CCT 的图形、图像接口	(113)
7.1	CCT 驱动程序的图形接口	(113)
7.2	绘图软件 PICTEX	(114)
7.3	与其他绘图软件的接口程序 HPGL2CCT.EXE	(121)
7.4	与数字化扫描仪的接口程序 TIFTOBMF.EXE	(124)
7.5	BMP 图像的插入技术	(125)
第 8 章	LATEX 的图形接口	(128)
8.1	简介	(128)
8.2	LATEX 图形盒子	(130)
8.3	Encapsulated PostScript	(130)
8.4	怎样在 LATEX 中使用 EPS 图	(133)
8.5	下载和安装 GhostScript	(134)
8.6	图像格式转换软件	(135)
第 9 章	LATEX 图形宏包	(138)
9.1	加入 EPS 图像文件	(138)
9.2	旋转和缩放图形对象	(139)
9.3	高级命令	(141)
第 10 章	LATEX_{2ϵ} 图形命令的使用	(145)
10.1	图形的放置位置	(145)
10.2	旋转、缩放和对齐	(147)
10.3	使用子目录	(153)
10.4	压缩图形文件和非 EPS 文件的使用	(156)
10.5	PSfrag 宏包	(160)
10.6	多次使用同一图形的几种技巧	(164)
第 11 章	浮动图形环境	(172)

11.1 浮动图形环境	(172)
11.2 定制浮动位置	(177)
11.3 定制图形环境	(179)
11.4 使用 caption2 宏包来定制标题	(183)
11.5 不浮动的图形	(193)
11.6 边注图形	(195)
11.7 宽图形的处理	(196)
11.8 横排的图形	(198)
11.9 标题在一边的图形	(200)
11.10 奇偶页中的图形	(204)
11.11 盒子中的图形	(206)
11.12 并列的图形	(210)
11.13 堆叠图形	(218)
11.14 图形与表格的平行排列	(219)
11.15 连续图形	(220)
第 12 章 错误信息及其处理	(222)
12.1 常见错误和处理	(222)
12.2 错误信息的解释	(223)
12.3 错误信息简介	(224)
12.4 LATEX 的警告错误	(228)
附录 A 一篇中文文章源文件的输入样板	(230)
附录 B 一篇英文文章源文件的输入样板	(262)
参考文献	(285)

第 1 章 中英文 LATEX 排版系统基本操作

1.1 LATEX 源文件的结构形式及其输入

LATEX 实际上是一个文献的处理系统,只要预先给定所要的文献形式, LATEX 就按照给定的形式输出。 LATEX 有四种常用的标准文献形式,即文章 (article< 英文 > 或 carticle< 中文 >)、书籍 (book)、报告 (report)、信件 (letter)。只要在源文件输入开始处选择这四项之一,就能得到不同的文献输出形式。输入源文件的第一行必须是: `\documentstyle{}`,花括号中可选上述的四种标准文献形式之一。输入的文件必须是 ASCII 码文件并以文件扩展名 .tex 存盘,但输入的中文的文本需以文件扩展名 .ctx 存盘。

假设你的计算机上已装有 LATEX 软件 (如 EMTEX 软件),使用时首先进入相应的子目录 (子目录名可能在不同的系统下不相同,但如果路径对,可在任一盘符和子目录下使用),用普通的文字输入软件 (例如 UC DOS、Windows 下的写字板等) 或者其他一些文字处理程序 (但不能带一些特殊字符,像 CW 软件) 编辑文本文件。另外,目前国内流行的 Word 汉字软件同样可以编辑文本文件,但在文件编完之后,要利用 Word 软件提供的文件服务功能将 Word 格式换为文本文件格式 (文件扩展名可能是 .txt,如果是这样,还必须用 DOS 下的命令 ren 或 Windows 9x 的重命名功能,将此文件改写为文件扩展名为 .tex< 英文 > 或 .ctx< 中文 >)。用这些文字处理软件可编写一个 LATEX 系统能够编译的文本文件 (也称为源文件)。只要在这个源文件中加入一些简单的 LATEX 的命令,就可得到 LATEX 的源文件。源文件的扩展名为 .tex< 英文 > 或 .ctx< 中文 >。

请读者按下列格式输入一个源文件 (英文) 作为练习。

```
\documentstyle{article}
```

```
\begin{document}
```

Technical World Processing and Typography Professionals in mathematics, the science, engineering, and other related fields are just bginning to exploit computer software to produce technical publications.

```
\end{document}
```

结束文章符必须与文章开始符相呼应,并对齐。

读者也可以按下列格式输入另一个源文件 (中文) 作为练习。

```
\documentstyle{carticle}
```

```
\begin{document}
```

混合有限元法在高阶偏微分方程和含有两个 (或者两个以上) 未知函数的偏微分方程的

数值解的研究中起着重要的作用。但是, 到目前为止, 混合有限元法主要是用于 $2n$ 阶或一阶偏微分方程 (组), 如二阶椭圆型方程、平面弹性力学方程、双调和方程、Stokes 和 Navier-Stokes 方程、抛物型方程以及电磁场方程。

```
\end{document}
```

同样, 这里结束文章符与文章开始符也需对应。

这两个源文件中的反斜杠 “\” 是命令符号 (将在第 3 章中介绍), 初学者先直接接受这些特定的命令符号。这两个源文件可以分别以 Myfile1.tex 文件名和 Myfile2.ctx 文件名存盘, 这样, 两个完整的 LATEX 的源文件就已经完成。读者看到源文件中除多了三条以反斜杠引导的命令以外与普通文字处理软件没有什么不同, 下一节中将会看到如何用 LATEX 软件编译生成可以输出的文件, 请读者按照这两个输入文件进行编译, 以熟悉 LATEX 软件的使用。

1.2 LATEX 软件的运行方法

在 EMTEX 子目录下直接运行 LATEX 程序 (通常这是一个批处理文件), 对英文文本文件 Myfile1.tex 编译为:

```
>latex Myfile1.tex(扩展名可忽略) ←(回车)
```

这时在显示器上将给出一些信息, 这些信息在不同的 LATEX 系统版本下有所不同, 例如在 EMTEX 系统下显示为:

```
This is emTeX(tex386), Version 3.14159 [4a] (no format preloaded)
**\plain myfile1
(myfile1.tex
LaTeX2e <1996/2/12/01> path level 1
(/emtex/texinput/latex2e/latex209.def
Entering Latex 2.09 compatibility mode.
(/emtex/texinput/latex2e/tracefmt.sty)(/emtex/texinput/latex2e/latexsym.sty))
(/emtex/texinput/clatex2e/carticle.sty
Document Style 'carticle' <16 Mar 88>.
(/emtex/texinput/cchhead.sty)(/emtex/texinput/clatex/cart11.sty))
(/emtex/texinput/latex2e/leqno.sty)(/emtex/texinput/latex2e/leqno.clo))
No file myfile1.aux
[1] myfile1.aux
Output written on myfile1.dvi (1 page, 480 bytes)
Transcript written on myfile1.log
```

>

如果编译中文文本文件 myfile2.ctx, 则首先执行下面命令:

>cct myfile2.ctx(扩展名可忽略)↵(回车)

这时显示器上显示如下信息:

```
CCT- Preprocessor V5.13, Nov1997.
Transforming myfile2.ctx ==> myfile2.tex
Line 7
Done.
```

即系统将中文文本文件 myfile2.ctx 转变成为 LATEX 文本 myfile2.tex。接着, 可以按上面的英文文本文件 Myfile1.tex 的编译方法编译 Myfile2.tex, 显示器上也会给出类似的信息。

因为这里的 LATEX 由 EMTEX 的宏命令包提供, 所以首先看到的是 EMTEX 的版本和有关 EMTEX 的信息, 然后显示 LATEX 版本的信息: 2.09。本书中所有的例子都用这个版本的 LATEX 编译成功。在第一次编译后能产生一个辅助文件 (如 myfile1.aux< 英文> 或 myfile2.aux< 中文>), 这个文件有交叉引用等信息 (见第 6 章), 即使没有交叉引用, 这个文件也会产生。在每一页编译通过后, 方括号 [] 将显示页号。能够输出的文件信息被存放在 Myfile1.dvi 或 Myfile2.dvi (dvi 是 device-independent 的缩写) 文件中, 这就是 LATEX 生成的所谓独立于系统的文件, 原则上这些文件就可以拿到其他系统上去输出。系统将同时显示总页数和文件所占的空间。

为了输出文件, LATEX 系统提供了屏幕模拟程序 (view) 和各种能支持不同型号打印机的输出程序。

以下面命令显示文件 Myfile2.dvi:

>view Myfile2.dvi(扩展名可忽略)↵(回车)

屏幕将显示:

```
=====CCT DVI Previewer,  V5.13Z (Jan 16 1998)=====
                DVI file name  MYFILE2.DVI
      Reduction factor [Z]      2
Font resolution (DPI) [R]    300
      Start page no. [#]
      Magnification [M]
X margin:Y margin [B]    1cm:1cm
      PK font path [P]    C:\EMTEX\PIXEL\DPI$d
Chinese font path [I]    C:\EMTEX\HZFONTS
Scratch file name [T]    C:\$DVITEMP.$$$
```

```

Range of page numbers [N]
Parity of page numbers [U]   Process all page numbers
Page numbering [V]          TeX page numbers(\count0)
Display Chinese Characters [H] Yes
Reverse video [A]           Yes
Graphics mode [G]           VFSA mode, 1024×768
Gamma:Foreground: Background[^] 2.0:0×3f3f3f:0×000000
Allow Changable zoom (slower) [&] Yes
===Left or Right arrows to change  current item, <Enter> to start===

```

Myfile1.dvi 的显示方法类似, 读者可以试一试。要改变其参数, 键入 [] 中的字母即可。请读者注意, 在屏幕分辨率不高的情况下, 常常发现显示比例为 2 吋, 横线 (如分数线等) 不能显示, 只要改变显示比例即可。在显示的页数较多时, 可选择要显示的页号, 键入 N 后回车, 再输入页号。左右移动由左右箭头控制。忽略这些选择直接按回车键, 屏幕上也能看到最后生成的文件。Myfile2.dvi 文件最后要在打印机上输出, 不同的打印机对应不同的打印驱动程序, 下面以目前较多使用的 LQ 系列 NEC 系列的打印机为例。LQ-1600 点阵打印机的驱动程序是 dvi24p.exe, 用下面命令运行该程序。

```
>dvi24p myfile2.dvi (扩展名可忽略) ↵(回车)
```

屏幕将显示:

```

--CCT Printer Driver for Epson LQ-K (180x180 DPI), V5.13Z(Jan 16 1998)--
      DVI file name MYFILE.DVI
      Reduction factor [Z] 1
      Font resolution (DPI) [R] 180
      Magnification [M]
      X margin:Y margin [B] 0.5cm:0.5cm
      PK font path [P] C:\EMTEX\PIXEL\DPI$d
      Chinese font path [I] C:\EMTEX\HZFONTS
      Scratch file name [T] C:\$DVITEMP.$$$
      Output format [F] 1x1
      Range of page numbers [N]
      Parity of page numbers [U] Process all page numbers
      Page numbering [V] TeX page numbers(\count0)
      Stop between pages [S] No
      Output device pages [L] LPT1
      Printing area (x0:x1:y0:y1) [D] 0mm:210mm:0mm:297mm
--Left or Right arrows to change  current item, <Enter> to start --

```

键入字母 N, 输入起止页号码 (如 1:3) 按回车键 (打印第一至第三页。若直接按回车键, 将全部输出)。按屏幕提示输入参数, 就能在打印机上得到你的作品。当你看到作品时, 一定不会对它的字符质量感到满意。但是, 文件内容在空白纸上占的位置、字符大小、字符间距和行间距等并不一定令人满意, 这时只要在文本文件中继续键入一些命令, 就能随心所欲地控制作品形式, 一直到你满意为止。例如, 在文本文件 Myfile1.tex 中第二行后面再键入几条命令便变为 (注: 右边 % 后的文字为注释性文字):

```
\documentstyle[12pt]{article}           % 字符尺寸 12pt
\textheight{215mm}                      % 文章的每页占的高度
\textwidth{145mm}                       % 文章每页的宽度
\oddsidemargin 0pt                      % 奇数页左边留空为零
\evensidemargin 0pt                     % 偶数页左边留空为零
\topmargin 0pt                           % 页顶留空为零
\title{Technical World Proccessing and Typography} % 文章名
\author{Z.D.Luo, L.L.Zhao \\\           % 作者名 (换行)
Department of Mathematics of Capital Normal University,\\
Beijing 100037 P.R.China}               % 地址
\date{March 13, 1999}                   % 日期
\maketitle                               % 制作标题和内容摘要要是系统自动设计的, 包括字号大小等
\vspace{0.5cm}                           % 0.5cm 的纵向留空
\begin{document}
\begin{minipage}{120mm}                  % 窄页
\begin{center}Abstract\end{center}       % 排印居中
Professionals in mathematics, the science, engineering, and other related fields are
just begining to exploit computer software to produce technical publications.
\end{minipage}
\end{document}
```

这通常是文章的第一页, 它规定了文章的宽度和高度等, 然后仿照前面的做法编译文件, 最后在屏幕上模拟显示, 读者就能体会到这些命令的作用。建议读者在改变尺寸的大小后再试一次, 因为许多出版社对版心有严格的要求。为了把标题打印成黑体, 可加上 `\bf...` (英文) 或 `\heiti...` (中文); 改变 Abstract 的位置, 用 `\begin{center}` 和 `\end{center}` 把 Abstract 夹起来, 则 Abstract 放在文章的中间; 如果要用较小字, 则用花括号 `\small ...`; 若想改变其中一个单词 Professionals 的大小字号、字体, 可用 `\small {\it Professionals}`, 这样 Professionals 被打印成小的斜体。通常标题和文章间要留一些空间, 则在命令 `\maketitle` 下的一行打入 `\vspace{0.5cm}`, 则有 0.5cm 的空间产生。为了将文章的内容和摘要分开, 在摘要的下面打入 `\newpage` 命令则后面的内容将会另起一页。文章的日期若由作者定, 在 `\author` 命令的下一行打入 `\date {March 12.2000}`, 默认情况下则给出计算机当前的时间。若要另起一个自然段, 则可按两次回车键或在新起的段落前输入 `\par` 命令。一些文章

有节标题则写入命令 `\section*{I.Introduction}`。熟悉英语的读者能很快接受这些命令。详细的版式命令见第 3.4 节和附录。

以上是一个文章的实例, 写文章的读者可以仿照这个结构来编写文章。在日常与国外通信交往中, 你也许会对打印的字符质量不满意, 因为一封漂亮的信往往会给对方留下良好的印象。LATEX 软件提供了书信功能, 请自己输入下面的一个文本文件:

```

\documentstyle{letter}                                % 信件格式
\makelabels                                           % 在第二页打印对方地址时也打印邮政地址
\begin{document}
\signature{Dr.Z.D.Luo}                               % 发信人名
\address{Department of Mathematics\\
Capital Normal University,\\
Beijing,100037,P.R.China}                            % 发信人地址
\begin{letter}{Prof.Y.Sasakawa\\                     % 收信人名
Tohoku University of Japan,\\
Sendai,Japan}                                         % 收信人地址
% 双反斜杠是换行符
\opening{Dear Prof.Sasakawa}                         % 收信人称谓
I have got your letter dated March 13, 1999 ..... % 内容
\closing{Sincerely yours, }                          % 谦称
\ps{P.S.\\I will arrive at Narita airport on Apr.14.} % 附加信息
\end{letter}
\end{document}

```

只要按照这个格式录入文本文件, 就能得到一封满意的英文信件, 它的格式是按照标准的英文信件格式排版的。其他一些要求, 如信件的大小、字符大小等和在文章中的用法一致。请读者练习打印和显示这封信件, 看看是否能初步掌握这种排版格式的使用。另外两种格式 (book、report) 这里就不一一列举了, 读者只要自己改变格式试一下就明白。

使用 LATEX 软件的基本顺序如下:

- (1) 用文字处理软件编辑带有 LATEX 命令的源文件, 扩展名是 .tex(英文) 或 .ctx(中文)。
- (2) 调用 LATEX 程序将源文件编译成 .dvi 文件, 这个文件可以拿到其他系统上去输出。
- (3) 在打印之前调用 view 程序, 在显示器上模拟显示要输出的结果。
- (4) 调用 dvi24p 可执行文件, 可在 LQ 系列的打印机上输出 .dvi 文件。或调用 dvi1jp 或 dvi2j500 可执行文件, 可在激光打印机上输出 .dvi 文件。

附注: 目前国内最流行的两种 LATEX 排版软件是 EMTEx 和 CTeX2.0。这两种软件各有其特点。

EMTEX 提供了一种“中文 TEX 快捷系统”，文件为“cctwin32.exe”（可在 Windows95 以上的操作系统使用）或“cctwin16.exe”（可在 Windows 3x 操作系统使用）。只需在 EMTX 的目录（文件夹）下，将该文件创建成快捷方式，并拉到 Windows 9x 的桌面上。这样，如果你一边修改你的文本文件，一边在 DOS 下编译，你就可以从“中文 TEX”窗口下看到修改的排版结果。该窗口还提供了打印的按钮，用户可以很方便地将文稿打印。如果你需要将 bmp 图形插入你的文档，EMTEX 就提供了将 bmp 图形文件转换成可以插入原文件的 tex 文件和 bmf 文件的功能，并可以将 bmf 文件转换成在生成 ps 文件时插图所需要的 pcx 文件。这些将在第 7 章介绍。

CTEX2.0 也是一种“中文 TEX 快捷系统”，是不需插图的、初学 LATEX 排版的读者较容易掌握的一种系统。只要将该系统安装完之后，就可在电脑的桌面上出现“WinEdit”的快捷方式，双击该快捷方式，就可以打开一个编辑 LATEX 源文件的窗口。在工具栏上有各种各样的按钮，如果你编辑的文件是“中文 TEX”（即 CTX 文件），只要单击“CCTLATEX”按钮，就可以编译成“DVI 文件”；如果你编辑的文件是“英文 TEX”（即 TEX 文件），只要单击“TEX”按钮，就可以编译成“DVI 文件”。再单击“PS”按钮，就可以将“DVI 文件”转换成“PS 文件”。如果你需要排印各种各样的数学符号和希腊字母，只要在工具栏上单击 \sum 和 Σ 按钮就可以找到你需要的符号和字母，但注意要按数学状态格式使用这些符号和字母。如果你需要在文档中插入 bmp 图形，你还得在 DOS 下使用 EMTX 的插图功能，先将 bmp 图形文件转换成 bmf 文件，再将 bmf 文件转换成 pcx 文件，才能在你的 CTEX2.0 系统下插入文档需要的图形。EMTEX 系统的原文件也可以用“WinEdit 窗口”输入。两种系统可以互补使用。

到此为止，你已经掌握了基本的 LATEX 软件的使用方法，现在你可以按照自己的想法来安排文章。关于文章形式、各种特殊字符、环境等的详细命令在第 2 章和第 3 章中介绍，请读者按自己的需要找到对应的命令。这里的例文中未涉及数学公式的排印。越复杂的公式涉及的工作量越大，为了减轻使用者的负担，尽快地掌握复杂公式和表格的制作方法，第 4 章将给出各种数学公式的输入实例，这将会帮助你尽快了解排印数学公式的方法。

第 2 章 LATEX 字符与环境集

2.1 文字字符集

文字字符是指不需要进入数学状态就能排印出来的字符。它包括两大类：键盘字符和扩充字符。键盘字符包括键盘上除 $\$, \&, \sim, \backslash, \%, \{, \}, \wedge, \cdot, \#$ 以外的所有字符；扩充字符是指 LATEX 定义的字符，如头上带点的重音字符、希腊字符、特殊字符及上述的例外键盘字符等。常见的 LATEX 扩充字符如表 2.1 所示。

表 2.1 常见 LATEX 扩充文字字符

符号	$\$$	$\&$	$\%$	$\#$	\backslash	\sim	$-$
输入	<code>\\$</code>	<code>\&</code>	<code>\%</code>	<code>\#</code>	<code>\backslash</code>	<code>\~{ }</code>	<code>\- </code>
符号	$\{$	$\}$	\sim	\acute{o}	\ddot{o}	\acute{o}	\grave{o}
输入	<code>\{</code>	<code>\}</code>	<code>\~{ }</code>	<code>\' {o}</code>	<code>\" {o}</code>	<code>\. {o}</code>	<code>\H {o}</code>
符号	\textcircled{O}	\acute{o}	\ddot{o}	\ddot{o}	\ddot{oo}	\textcircled{O}	\hat{o}
输入	<code>\d {o}</code>	<code>\' {o}</code>	<code>\~{o}</code>	<code>\u {o}</code>	<code>\t {oo}</code>	<code>\b {o}</code>	<code>\{o}</code>
符号	\bar{o}	\breve{o}	\textcircled{O}	\P	\S	\dagger	\ddagger
输入	<code>\= {o}</code>	<code>\v {o}</code>	<code>\c {o}</code>	<code>\P</code>	<code>\S</code>	<code>\dag</code>	<code>\ddag</code>
符号	\pounds	\copyright	\AA	\AA	\AA	\AA	\AA
输入	<code>\pounds</code>	<code>\copyright</code>	<code>\aa</code>	<code>\AA</code>	<code>\l</code>	<code>\L</code>	<code>\oe</code>
符号	\AA	\AA	\AA	\AA	\AA	\AA	
输入	<code>\ss</code>	<code>\o</code>	<code>\O</code>	<code>\OE</code>	<code>\ae</code>	<code>\AE</code>	

2.2 数学字符集

数学字符是指要进入数学状态才能排印出来的字符，它主要用于数学公式的排印。LATEX 定义的主要数学字符分类列于表 2.2 ~ 表 2.11 中（这些字符必须在数学状态才能排印出来）。

表 2.2 重音符

符号	\hat{a}	\acute{a}	\bar{a}	\check{a}	\grave{a}	\vec{a}
输入	<code>\hat {a}</code>	<code>\acute {a}</code>	<code>\bar {a}</code>	<code>\check {a}</code>	<code>\grave {a}</code>	<code>\vec {a}</code>
符号	\breve{a}	\tilde{a}	\dot{a}	\ddot{a}		
输入	<code>\breve {a}</code>	<code>\tilde {a}</code>	<code>\dot {a}</code>	<code>\ddot {a}</code>		

表 2.3 界限字符

符号	\uparrow	\Uparrow	$($	$)$	$[$	$]$
输入	<code>\uparrow</code>	<code>\Uparrow</code>	<code>(</code>	<code>)</code>	<code>[</code>	<code>]</code>
符号	\Updownarrow	\Downarrow	$\{$	$\}$	\lfloor	\rfloor
输入	<code>\updownarrow</code>	<code>\downarrow</code>	<code>\{</code>	<code>\}</code>	<code>\lfloor</code>	<code>\rfloor</code>
符号	\Updownarrow	\Downarrow	\lceil	\rceil	$/$	$ $
输入	<code>\Updownarrow</code>	<code>\Downarrow</code>	<code>\lceil</code>	<code>\rceil</code>	<code>/</code>	<code> </code>
符号	\backslash	\rangle	\langle	\parallel		
输入	<code>\backslash</code>	<code>\rangle</code>	<code>\langle</code>	<code>\parallel</code>		

表 2.4 希腊字符

	小写字符					
符号	α	β	γ	δ	ϵ	ζ
输入	<code>\alpha</code>	<code>\beta</code>	<code>\gamma</code>	<code>\delta</code>	<code>\epsilon</code>	<code>\zeta</code>
符号	ϵ	θ	ϑ	ι	τ	ν
输入	<code>\varepsilon</code>	<code>\theta</code>	<code>\vartheta</code>	<code>\iota</code>	<code>\tau</code>	<code>\nu</code>
符号	λ	υ	ϵ	ϱ	ϖ	ρ
输入	<code>\lambda</code>	<code>\upsilon</code>	<code>\epsilon</code>	<code>\varrho</code>	<code>\varpi</code>	<code>\rho</code>
符号	σ	ς	κ	ξ	ϕ	ψ
输入	<code>\sigma</code>	<code>\varsigma</code>	<code>\kappa</code>	<code>\xi</code>	<code>\phi</code>	<code>\psi</code>
符号	φ	ω				
输入	<code>\varphi</code>	<code>\omega</code>				
	大写字符					
符号	Γ	Δ	A	B	E	Z
输入	<code>\Gamma</code>	<code>\Delta</code>	<code>A</code>	<code>B</code>	<code>E</code>	<code>Z</code>
符号	Θ	Λ	K	I	M	N
输入	<code>\Theta</code>	<code>\Lambda</code>	<code>K</code>	<code>I</code>	<code>M</code>	<code>N</code>
符号	Υ	Σ	P	Π	T	O
输入	<code>\Upsilon</code>	<code>\Sigma</code>	<code>P</code>	<code>\Pi</code>	<code>T</code>	<code>O</code>
符号	Ψ	Ω				
输入	<code>\Psi</code>	<code>\Omega</code>				

表 2.5 可变大小数学符号

符号	\sum	\prod	\coprod	\int	\oint	\bigcap
输入	<code>\sum</code>	<code>\prod</code>	<code>\coprod</code>	<code>\int</code>	<code>\oint</code>	<code>\bigcap</code>
符号	\bigcup	\bigsqcup	\bigvee	\bigwedge	\bigodot	\bigotimes
输入	<code>\bigcup</code>	<code>\bigsqcup</code>	<code>\bigvee</code>	<code>\bigwedge</code>	<code>\bigodot</code>	<code>\bigotimes</code>
符号	\bigoplus	\biguplus				
输入	<code>\bigoplus</code>	<code>\biguplus</code>				

表 2.6 否定关系

符号	$\not\subseteq$	$\not\supseteq$	\nasymp	$\not<$	$\not\leq$	$\not\prec$
输入	<code>\not\squsubseteq</code>	<code>\not\squpsupseteq</code>	<code>\not\asymp</code>	<code>\not<</code>	<code>\not\leq</code>	<code>\not\prec</code>
符号	$\not\supseteq$	$\not\subseteq$	\neq	$\not>$	$\not\geq$	$\not\succ$
输入	<code>\not\squpsupseteq</code>	<code>\not\squsubseteq</code>	<code>\not\equiv</code>	<code>\not></code>	<code>\not\geq</code>	<code>\not\succ</code>
符号	$\not\subset$	$\not\supset$	\nsimeq	$\not=$	$\not\sim$	$\not\cong$
输入	<code>\not\subset</code>	<code>\not\supset</code>	<code>\nsimeq</code>	<code>\not=</code>	<code>\not\sim</code>	<code>\not\cong</code>
符号	$\not\supseteq$	$\not\subset$	$\not\approx$			
输入	<code>\not\supseteq</code>	<code>\not\subset</code>	<code>\not\approx</code>			

表 2.7 双运算符

符号	\pm	\mp	\times	\div	$*$	\star
输入	<code>\pm</code>	<code>\mp</code>	<code>\times</code>	<code>\div</code>	<code>\ast</code>	<code>\star</code>
符号	\circ	\triangleleft	\cdot	\cap	\cup	\oplus
输入	<code>\circ</code>	<code>\triangleleft</code>	<code>\cdot</code>	<code>\cap</code>	<code>\cup</code>	<code>\oplus</code>
符号	\sqcap	\bigtriangledown	\vee	\wedge	\setminus	\wr
输入	<code>\sqcap</code>	<code>\bigtriangledown</code>	<code>\vee</code>	<code>\wedge</code>	<code>\setminus</code>	<code>\wr</code>
符号	\diamond	\bigtriangleup	\sqcup	\bullet	\dagger	\amalg
输入	<code>\diamond</code>	<code>\bigtriangleup</code>	<code>\sqcup</code>	<code>\bullet</code>	<code>\dagger</code>	<code>\amalg</code>
符号	\triangleright	\bigcirc	\oplus	\ominus	\otimes	\dagger
输入	<code>\triangleright</code>	<code>\bigcirc</code>	<code>\oplus</code>	<code>\ominus</code>	<code>\otimes</code>	<code>\dagger</code>
符号	\oslash	\odot	\rhd	\rhd	\lhd	\lhd
输入	<code>\oslash</code>	<code>\odot</code>	<code>\rhd</code>	<code>\rhd</code>	<code>\lhd</code>	<code>\lhd</code>

表 2.8 关系符

符号	\leq	\prec	\preceq	\ll	\subset	\subseteq
输入	<code>\leq</code>	<code>\prec</code>	<code>\preceq</code>	<code>\ll</code>	<code>\subset</code>	<code>\subseteq</code>
符号	\sqsubset	\sim	\in	\vdash	\supseteq	\succ
输入	<code>\sqsubset</code>	<code>\sim</code>	<code>\in</code>	<code>\vdash</code>	<code>\supseteq</code>	<code>\succ</code>
符号	\succeq	\equiv	\supset	\supseteq	\frown	\smile
输入	<code>\succeq</code>	<code>\equiv</code>	<code>\supset</code>	<code>\supseteq</code>	<code>\frown</code>	<code>\smile</code>
符号	\ni	\dashv	\gg	\sqsubseteq	\cong	\asymp
输入	<code>\ni</code>	<code>\dashv</code>	<code>\gg</code>	<code>\sqsubseteq</code>	<code>\cong</code>	<code>\asymp</code>
符号	\approx	\simeq	\neq	\doteq	\propto	\models
输入	<code>\approx</code>	<code>\simeq</code>	<code>\neq</code>	<code>\doteq</code>	<code>\propto</code>	<code>\models</code>
符号	\perp	\mid	\parallel	\bowtie	\Join	
输入	<code>\perp</code>	<code>\mid</code>	<code>\parallel</code>	<code>\bowtie</code>	<code>\Join</code>	

表 2.9 数学与逻辑函数符

符号	\arccos	\arcsin	\arctan	\arg	\cos	\cosh	\cot	\sinh
输入	<code>\arccos</code>	<code>\arcsin</code>	<code>\arctan</code>	<code>\arg</code>	<code>\cos</code>	<code>\cosh</code>	<code>\cot</code>	<code>\sinh</code>
符号	\coth	\csc	\deg	\det	\dim	\exp	\gcd	\sup
输入	<code>\coth</code>	<code>\csc</code>	<code>\deg</code>	<code>\det</code>	<code>\dim</code>	<code>\exp</code>	<code>\gcd</code>	<code>\sup</code>
符号	\hom	\inf	\ker	\lg	\lim	\liminf	\limsup	\tan
输入	<code>\hom</code>	<code>\inf</code>	<code>\ker</code>	<code>\lg</code>	<code>\lim</code>	<code>\liminf</code>	<code>\limsup</code>	<code>\tan</code>
符号	\ln	\log	\max	\min	\Pr	\sec	\sin	\tanh
输入	<code>\ln</code>	<code>\log</code>	<code>\max</code>	<code>\min</code>	<code>\Pr</code>	<code>\sec</code>	<code>\sin</code>	<code>\tanh</code>

表 2.10 箭头字符

符号	\longleftrightarrow	\Longleftarrow	\rightarrow	\leftarrow
输入	<code>\longleftrightarrow</code>	<code>\Longleftarrow</code>	<code>\rightarrow</code>	<code>\leftarrow</code>
符号	\Longleftrightarrow	\longleftarrow	\Rightarrow	\Leftarrow
输入	<code>\Longleftrightarrow</code>	<code>\longleftarrow</code>	<code>\Rightarrow</code>	<code>\Leftarrow</code>
符号	\leftharpoonupdown	\updownarrow	\mapsto	\uparrow
输入	<code>\leftharpoonupdown</code>	<code>\updownarrow</code>	<code>\mapsto</code>	<code>\uparrow</code>
符号	\rightharpoonupdown	\rightharpoonup	\Updownarrow	\Uparrow
输入	<code>\rightharpoonupdown</code>	<code>\rightharpoonup</code>	<code>\Updownarrow</code>	<code>\Uparrow</code>
符号	\rightleftarrows	\leftharpoonup	\downarrow	\Downarrow
输入	<code>\rightleftarrows</code>	<code>\leftharpoonup</code>	<code>\downarrow</code>	<code>\Downarrow</code>
符号	\leftrightarrow	\Longrightarrow	\rightarrow	\searrow
输入	<code>\leftrightarrow</code>	<code>\Longrightarrow</code>	<code>\rightarrow</code>	<code>\searrow</code>
符号	\Leftrightarrow	\longrightarrow	\nearrow	\swarrow
输入	<code>\Leftrightarrow</code>	<code>\longrightarrow</code>	<code>\nearrow</code>	<code>\swarrow</code>
符号	\hookrightarrow	\hookleftarrow	\longmapsto	\nwarrow
输入	<code>\hookrightarrow</code>	<code>\hookleftarrow</code>	<code>\longmapsto</code>	<code>\nwarrow</code>

表 2.11 各种混合杂字符

符号	\aleph	\hbar	\imath	\jmath	ℓ	\wp
输入	<code>\aleph</code>	<code>\hbar</code>	<code>\imath</code>	<code>\jmath</code>	<code>\ell</code>	<code>\wp</code>
符号	\emptyset	\natural	\mho	\prime	\Re	\Im
输入	<code>\emptyset</code>	<code>\natural</code>	<code>\mho</code>	<code>\prime</code>	<code>\Re</code>	<code>\Im</code>
符号	\Diamond	\forall	\triangle	\parallel	\angle	\flat
输入	<code>\Diamond</code>	<code>\forall</code>	<code>\triangle</code>	<code>\parallel</code>	<code>\angle</code>	<code>\flat</code>
符号	\spadesuit	\backslash	\top	∇	∞	\neg
输入	<code>\spadesuit</code>	<code>\backslash</code>	<code>\top</code>	<code>\nabla</code>	<code>\infty</code>	<code>\neg</code>

(续表)

符号	∂	\dagger	\clubsuit	$\sqrt{}$	\perp	\Box
输入	<code>\partial</code>	<code>\sharp</code>	<code>\clubsuit</code>	<code>\surd</code>	<code>\bot</code>	<code>\Box</code>
符号	\diamond	\heartsuit	\exists			
输入	<code>\diamondsuit</code>	<code>\heartsuit</code>	<code>\exists</code>			

2.3 特殊字符与 LATEX 度量单位

2.3.1 特殊字符及意义

在第 2.1 节中提到的 10 个键盘字符 `$`, `&`, `~`, `\`, `%`, `{`, `}`, `^`, `-` 和 `#`, 因为这些字符具有特殊意义, 不能直接用键盘符产生, 它们必须按表 2.1 所示的输入方式产生, 并被用做控制符。这 10 个字符的意义如下:

2.3.1.1 `$` 字符

该字符表示进入或退出数学状态。若要产生表 2.2~ 表 2.11 中描述的数学字符, 则必须夹在两个 `$` 符号之间。例如, 若要产生字符 π , 则要输入 `π`。

2.3.1.2 `&` 字符

该字符用做制表 (tabular) 和阵列 (array) 环境中的列分隔符, 使各列中的元素按某种方式 (如居中、左对齐、右对齐) 排列。

2.3.1.3 `~` 字符

该字符用于连接两个不允许分开的字符或字, 并产生一个空格。例如人名与姓不允许分开排在两行上。但有时恰好遇上在人名与姓之间换行, 为了避免发生姓与名分开, 通常使用 `~` 符号把人名和姓连接起来, 告诉 LATEX 被连接的两字是不可分的。当遇到恰好要在被 `~` 符号连接的两字间换行时, LATEX 就会将两字一起换到下一行, 并适当调节上一行的字间距, 使行充满。

2.3.1.4 `#` 字符

该字符用于宏命令中的可变参量的引导符。宏命令中的参数形式为 `#1`、`#2` 等, 调用宏命令时, 再用具体的数值或字符串替换形式参数 `#1`、`#2` 等, 调用宏命令非常类似调用计算机的子程序。这些将在第 6 章详细介绍。

2.3.1.5 `^` 字符

该字符为上角标控制符。例如要排印 $X^2 + Y^2$, 则应输入 `X^2+Y^2`。

2.3.1.6 `_` 字符

该字符为下角标控制符。例如要排印 $X_1 + Y_1$ ，则可输入 `SX_1+Y_1S`。

2.3.1.7 `\` 字符

该字符为 LATEX 命令引导符或分隔符。例如，所有的 LATEX 命令均以 `\` 符开始。如前面已见过的命令 `\documentstyle`、`\begin` 和 `\end` 等。又如，`\\` 为强行分行，单个 `\` 后跟空格，将留空一个字符。

2.3.1.8 `{` 字符

该字符为 LATEX 命令作用域的起始符。

2.3.1.9 `}` 字符

该字符为 LATEX 命令作用域的结束符。“`{`”与“`}`”必须配对使用，否则，编译时会出错。例如命令 `\documentstyle{}` 和 `\begin{document}` 均只识别花括号中的内容是否正确。

2.3.1.10 `%` 字符

该字符为注释标志符，跟随其后的同行文字为注释内容，LATEX 排版时忽略注释内容。利用该字符可在源文件中加注释说明，增加源文件的可读性。注释内容开始于 `%` 字符，结束于行末。若注释内容占多行，则新行首必为 `%` 符号。例如：

```
%The following text is an example how to write Latex file
\documentstyle{article}
% This must be the first command of any original files
%This is preamble zone , some of Latex commands must be here
%e.g., \newcommand,\textwidth,\textheight etc.
\begin{document} %Shows beginning of your manuscript below .....
Text is here ..... %A number of Latex commands and environments .....
Text is here ..... % will appear in this part.
\end {document} %This must be the last command
```

上例显示了一个 LATEX 格式的源文件的基本结构，例中的注释均用 `%` 符号引导，LATEX 软件不会扫描 `%` 号后的内容。

2.3.2 LATEX 度量单位

LATEX 的常用尺寸度量单位有英寸 (in)、厘米 (cm)、毫米 (mm) 和点 (pt) 等，点定义为 1/72.27 英寸。

2.4 L^AT_EX 环境集

本节介绍一些常用的 L^AT_EX 系统的环境, 包括文字版式环境、图表环境和数学版式环境。

环境引用的格式为:

```
\begin{环境名}[选项]  
... 内容 ...  
\end{环境名}
```

环境的作用范围为 `\begin{环境名}` 与 `\end{环境名}` 之间的内容。`\begin{环境名}` 与 `\end{环境名}` 必须成对使用, 否则编译会出错。环境可以相互嵌套。事实上, 所有环境都是嵌套在 `document` 环境中, 如第 1 章所述, L^AT_EX 的所有环境都是在 `\begin{document}` 和 `\end{document}` 环境中使用。本书介绍的环境及例子均默认是嵌套在 `document` 环境中的, 所举例子中不再写 `\begin{document}` 和 `\end{document}`。有些环境有选项, 有些无选项, 请注意下面的具体描述。

排版结束后, 处于环境中的正文根据不同环境可以得到不同的排印结果。

2.4.1 文字版式环境 (如居中、左对齐、右对齐)

2.4.1.1 `center` 环境 (居中)

此环境将使位于 `\begin{center}` 与 `\end{center}` 之间的内容居中排印, 格式为:

```
\begin{center}  
这行居中 \\  
这行也居中 \\  
..... \\  
这行仍居中  
\end{center}
```

引用格式中无选项。例如, 按如下输入:

```
\begin{center}  
LATEX for \\  
Scientists and Engineers \\  
by \\  
David J. Bouerger  
\end{center}
```

产生如下版式:

L^AT_EX for

Scientists and Engineers

by

David J. Bouerger

上例中输入的双反斜线 `\\` 表示强行换行。若没有 `\\` 符号, 下一行的内容将接着排版, 直到一行排满才自动换行。

2.4.1.2 `flushleft` 环境 (左对齐)

此环境使位于 `\begin{flushleft}` 和 `\end{flushleft}` 之间的内容左对齐排版, 该环境的格式为:

```
\begin{flushleft}
这行左对齐 \\
这行也左对齐 \\
... .. \\
这行仍左对齐
\end{flushleft}
```

引用格式中无选项。例如要排版如下格式的邮寄地址:

```
SPIE
P.O.Box 10
Bellingham, WA98227-0010
USA
```

只要用 `flushleft` 环境按下述输入即可:

```
\begin{flushleft}
SPIE\\
P.O.Box 10\\
Bellingham, WA98227-0010\\
USA
\end{flushleft}
```

2.4.1.3 `flushright` 环境

此环境与 `flushleft` 环境相反, 产生右对齐格式, 该环境的格式为:

```
\begin{flushright}
这行右对齐 \\
这行也右对齐 \\
... .. \\
这行仍右对齐
```

```
\end{flushright}
```

引用格式中无选项。例如要产生如下版式:

```
Department of Mathematics
Capital Normal University
Beijing 100037
P. R. China
```

则输入如下:

```
\begin{flushright}
Department of Mathematics\\
Capital Normal University\\
Beijing 100037\\
P. R. China
\end{flushright}
```

[注]:LATEX 的默认环境为 fill(充满), 此环境产生右对齐的版式。

2.4.1.4 itemize 环境

该环境用于列举条款, 被列举条款由一个实心圆标志, 该环境的格式为:

```
\begin{itemize}
\item 列举条款 1
\item 列举条款 2
.....
\item 列举条款 n
\end{itemize}
```

引用格式中无选项。例如要产生如下的条款列举:

- Optical information processing
- Digital filtering

则按如下输入:

```
\begin{itemize}
\item Optical information processing
\item Digital filtering
\end{itemize}
```

2.4.1.5 enumerate 环境

该环境也用于条款的列举, 与 itemize 的差别在于被列举条款的引导标志符不同, 此环

境下引导被列举条款的标志为数字，即列举条款被顺序编号。该环境的格式为：

```
\begin{enumerate}
\item 列举条款 1
\item 列举条款 2
....
\item 列举条款 n
\end{enumerate}
```

引用格式中无选项。例如要产生如下列举：

- (1) Optical information processing
- (2) Digital filtering

只要将上一例子中的 `itemize` 环境改为 `enumerate` 环境即可。

`enumerate` 环境可以多重嵌套，LATEX 可以自动处理四重 `enumerate` 环境嵌套，其编号规则为第一级环境内的列举条款采用自然数编号，第二级环境内的列举条款编号采用 (a),(b),(c), ..., 第三级环境内的列举条款编号为小写罗马数字 i,ii,iii, ..., 第四级环境内的条款编号为 A, B, C, ...。例如下述嵌套：

```
\begin{enumerate}
\item Principle of computer
\begin{enumerate}
\item Hardware of computer
\begin{enumerate}
\item 8086CPU
\begin{enumerate}
\item Instruction system
\item Description of CPU
\end{enumerate}
\end{enumerate}
\item External devices
\end{enumerate}
\item Software of computer
\begin{enumerate}
\item Computer languages
\begin{enumerate}
\item Assembler language
\item C language
\item Fortran language
\end{enumerate}
\end{enumerate}
\end{enumerate}
```

```
\item Development of compuer
\end{enumerate}
```

排版结果为:

1. Principle of computer
 - (a) Hardware of computer
 - i. 8086 CPU
 - A. Instruction system
 - B. Description of CPU
 - ii. External devices
 - (b) Software of computer
 - i. Computer languages
 - A. Assembler language
 - B. C language
 - C. Fortran language

2. Development of compuer

2.4.1.6 description 环境

此环境与上述两种环境的差别在于引导列举的标志符可以随意选择, 所以特别适合于词条解释。如词条名作为标志符, 解释作为列举条款。此环境的引用格式为:

```
\begin{description}
\item [名词 1] 解释 1
\item [名词 2] 解释 2
....
\item [名词 n] 解释 n
\end{description}
```

引用格式中无选项。例如要产生如下描述:

Fox A animal being of four legs, similar to dog, but cleverer than the dog.

Food Dash Used daily by the dog, underwent possible damage when a fox landed in it.

按如下输入:

```
\begin{description}
\item [Fox] A animal being of four legs, similar to dog, but cleverer than the dog.
```

```
\item [Food Dash] Used daily by the dog, underwent possible damage when a fox
landed in it.
\end{description}
```

由于 description 环境中标志符区的宽度固定为四个字符，所以当选择的标志字符串的字符数超过四个时，标志字符串就会进入列举内容区。为了使标志符更醒目，希望标志字符串与列举内容分开，这就要求标志符区的宽度随标志字符串的字符数而自动调节。这可以通过在序言区写入下面的宏命令来实现。

```
\newcommand{\namelistlabel}[1] {\mbox{#1}\hfill}\
\newenvironment{namelist}[1]{%
\begin{list}{}
{
\let\makelabel\namelistlabel
\settowidth{\labelwidth}{#1}
\setlength{\leftmargin}{1.1\labelwidth}
}
}{%
\end{list}}
```

在正文中按如下格式引用：

```
\begin{namelist}{标志字符串 xx}
...内容...
\end{namelist}
```

下面用 namelist 环境重排上面的例子：

```
\begin{namelist}{Food dashxx}
\item[{\bf Fox}] A animal being of four legs, similar to dog, but cleverer than the
dog.
\item[{\bf Food Dash}] Used daily by the dog, underwent possible damage when
a fox landed in it.
\end{namelist}
```

排版结果为：

```
Fox      A animal being of four legs, similar to dog, but cleverer than the dog.
Food Dash Used daily by the dog, underwent possible damage when a fox landed
in it.
```

在 namelist 环境中标志符不再默认为黑体，所以标志字符串前加黑体命令 \bf。标志区的宽度由 \begin{namelist}{标志串 xx} 中的标志串的长度确定，两个 x 符表示串与列举内容之间留适当间隔。

2.4.1.7 verb 和 verbatim 环境

这两个环境均用于取消 LATEX 排版, 即位于这两个环境中的内容将按源文件的输入格式输出, LATEX 不对它重新排版。例如, 字间的多空格, 行间的多空格均被 LATEX 忽略, 特殊字符 \$, &, ~, \, %, {, }, ^, - 和 # 通常均被 LATEX 解释为控制符, 不会作为符号输出, 但当它们位于 verbatim 或 verb 环境中时, 均不被看做控制符, 而按原格式输出。verb 和 verbatim 环境之间的差别在于: 前者仅适用于单行文献的复制; 而后者则可用于多行文献的复制。此环境的引用格式中无选项。例如, 输入:

The Laplace operator is shown below:

```
\[ \bigtriangledown^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}
```

排版结果为:

The Laplace operator is shown below:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

而输入:

```
\begin{verbatim}
```

The Laplace operator is shown below:

```
\[ \bigtriangledown^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}
```

排版结果则为:

The Laplace operator is shown below:

```
\[ \bigtriangledown^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}
```

verb 环境将 \verb 后的 | 之间的英文字符 (即 ASCII 符号) 原样输出。例如, 输入:

The Laplace operator is shown below:

```
\[ \verb| \bigtriangledown^2
```

\]

排版结果为:

The Laplace operator is shown below:

$$\bigtriangledown^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

2.4.1.8 Minipage 环境 (小页环境)

顾名思义, minipage 是一种“小页”。此环境定义局部段落的宽度小于标准正文宽度, 如论文的摘要宽度通常比正文窄, 则可利用此环境设置它的宽度。minipage 环境的引用中有选项, 格式为:

```
\begin{minipage}[位置]{size}
... 内容...
\end{minipage}
```

其中 [位置] 是选项, 可以取 t(top) 或 b(bottom) 表示“小页”中的第 1 行与上面正文的位置是“顶部对齐”或“底部对齐”; 花括号中的 size 即定义的段落的宽度尺寸。例如要产生下页的摘要版面宽度为 13.5cm 的一段内容:

Abstract

This paper describes the use of a neural computational network model for pattern recognition and classification of aerodynamic particle size distributions associated with a number of environmental, bacterial, and artificial aerosols. The aerodynamic particle size distributions are measured in real time with high resolution using a two-spot He-Ne laser velocimeter. The technique employed here for recognition and classification of aerosols of unknown origin is based on. ...

I. Introduction

The extraction of features from patterns and wave forms is important in a number of pattern recognition applications spanning a range of different scientific disciplines such as image and scene analysis, computer vision, speech and character recognition, biological taxonomy and medical diagnosis, radar and sonar target recognition classification, robotics and remote manipulators,

输入如下:

```
\begin{center}
Abstract\\
% A space line is necessary here.
\begin{minipage}{135mm}
```

This paper describes the use of a neural computational network model for pattern recognition and classification of aerodynamic particle size distributions associated with a number of environmental, bacterial, and artificial aerosols. The aerodynamic particle size distributions are measured in real time with high resolution using a two spot He Ne laser velocimeter. The technique employed here for recognition and classification of aerosols of unknown origin is based on....

`\end{minipage}`

`% Here is a necessary space line`

I. Introduction

`\end{center}`

`% A space line is necessary here`

The extraction of features from patterns and wave forms is important in a number of pattern recognition applications spanning a range of different scientific disciplines such as image and scene analysis, computer vision, speech and character recognition, biological taxonomy and medical diagnosis, radar and sonar target recognition classification, robotics and remote manipulators.

2.4.1.9 quote 和 quotation 环境

这两个环境用于引用文献内容或讲话内容的排版, 输出文献段的宽度小于正文的标准宽度, 即此环境相当于 minipage 环境中某一特定尺寸时的结果, 差别仅在于此环境下输出的文献段是自动居中的, 而 minipage 环境中则不是自动居中的。此环境的引用格式中无选项。quote 和 quotation 之间的差别在于前者不产生段首行退格, 而后者则要产生段首行退格。这两个环境下产生的段落的宽度约为标准正文宽度的 90%。将上例中的 minipage 环境改为 quotation 环境, 并删去段宽设置 {135mm} 的排版结果为:

Abstract

This paper describes the use of a neural computational network model for pattern recognition and classification of aerodynamic particle size distributions associated with a number of environmental, bacterial, and artificial aerosols. The aerodynamic particle size distributions are measured in real time with high resolution using a two-spot He-Ne laser velocimeter. The technique employed here for recognition and classification of aerosols of unknown origin is based on. ...

I. Introduction

The extraction of features from patterns and wave forms is important in a number of pattern recognition applications spanning a range of different scientific disciplines such as image and scene analysis, computer vision, speech and character recognition,

biological taxonomy and medical diagnosis, radar and sonar target recognition classification, robotics and remote manipulators,

与上例的排版差别在于摘要内容宽度变了, 约为 5.4in 宽.

2.4.1.10 verse 环境

此环境专用于诗词的排版. 该环境的格式为:

```
\begin{verse}
```

```
... 内容...
```

```
\end{verse}
```

此环境引用格式中无选项. 例如:

```
\begin{center}
```

```
{\large\bf Gwendolyn Brooks\\
```

```
The Bean Eaters}
```

```
\end{center}
```

```
\begin{verse}
```

```
They eat beans mostly, this old yellow pair.\\
```

```
Dinner is a casual affair.\\
```

```
Plain chipware on a plain and creaking wood, Tin flatware.\\
```

```
Two who are Mostly Good.\\
```

```
Two who have lived their day,\\
```

```
But keep on putting on their clothes \\
```

```
And putting things away.\\
```

```
And remembering \ldots\\
```

```
Remembering, with twinklings and twinges.\\
```

As they lean over the beans in their rented back room that is full of beads and receipts and dolls and cloths, tobacco crumbs, vases and frings.\\

```
{\footnotesize 1960}
```

```
\end{verse}
```

它的排版结果为:

Gwendolyn Brooks
The Bean Eaters

They eat beans mostly, this old yellow pair.

Dinner is a casual affair.

Plain chipware on a plain and creaking wood,
Tin flatware.

Two who are Mostly Good.

Two who have lived their day,

But keep on putting on their clothes

And putting things away.

And remembering ...

Remembering, with twinklings and twinges,

As they lean over the beans in their rented back room that is full of beads
and receipts and dolls and cloths, tobacco crumbs, vases and frings.

1960

2.4.2 图表环境

2.4.2.1 tabbing 环境

该环境用于制作无线框表格，它相当于用打字机上的 tab 键制表，此环境引用格式中无选项。为了直观地理解此环境的应用，看下面的例子。要排印下面的表：

No.	Description	Sale Price
1	Disk Drive	\$55
2	Monitor	\$90
3	Keyboard	\$75
4	Printer	\$500

则可利用此环境，按如下输入：

```
\begin{tabbing}
No.      \=  Description  \= Sale Price\\
1        \>Disk Drive   \>  \ $55\\
2        \> Monitor     \>  \ $90\\
3        \> Keyboard    \>  \ $75\\
4        \>Printer      \>  \ $500
\end{tabbing}
```

或

```
\begin{tabbing}
xxxxxxxxxxxxxxxx \=xxxxxxxxxxxxxxxx \= \kill
```

```

No. \> Description \> Sale Price\\
1 \> Disk Drive \> \$55\\
2 \> Monitor \> \$90\\
3 \> Keyboard \> \$75\\
4 \> Printer \> \$500
\end{tabbing}

```

Tabbing 命令如表 2.12 所示。

表 2.12 tabbing 命令

命令	放置的位置或效果
\=	在当前的表顶设置新表头
\>	次表头
\<	先前表头
\	紧靠右边
/	紧靠前表顶右对齐
\\	开始新 一行
\kill	保留放置在当前行的表头但不打印; 开始新 一行
\l	将表头的左边新界往右边放置
\r	将表头的左边新界往左边放置
\pushtabs	将当前表环境保存在 “tabbing” 环境内
\poptabs	将由 \pushtabs 保存的环境存储在另一 “tabbing” 环境内

注: 前一种表示法中各列的宽度由 tab 键定义 {\=} 行中各列字符串的字符数确定, 后一种表示法中各列的宽度由 tab 键定义行中各列的 x 符号数确定。若表头中各列的字符数多于表内各列的字符数, 采用前一种方法较好, 反之采用后一种方法较好, 此例中的排版结果是按第一种输入方式产生的。

2.4.2.2 tabular 环境

在 tabular 环境下能较容易地制作各种复杂表格, 此环境引用中有选项, 命令格式为:

```

\begin{tabular}[位置定义]{对齐方式选择 }
...内容...
\end{tabular}

```

或

```

\begin{tabular*}{宽度}[位置定义]{对齐方式选择 }
...内容...
\end{tabular*}

```

其中位置定义为 t(top) 或 b(bottom), 定义了当前表格的第一行与表格上端的最后一

行正文的位置关系,是表格的顶端与其对齐或表格的底部与其对齐。位置定义是可选项,由于通常的表格都是独立表格,所以常常不用进行位置定义,而直接另起一段制表;对齐方式包括左边齐 (l)、右边齐 (r) 和居中 (c)。

例如制作如下的表格:

No.	Equipment	Sale Price
1	Hard Disk	\$ 200
2	Disk Drive	\$50

可用 tabular 环境输入如下:

```
\begin{tabular}{|c|c|c|}\hline
No. & Equipment & Sale Price\\ \hline
1 & Hard Disk & $200 \\ \hline
2 & Disk Drive & $50 \\ \hline
\end{tabular}
```

上例中的 \hline 为水平画线命令,将在第 3.1 节中详细描述。选项中 c 表示每列内容居中,字符 | 表示绘制表格的竖线。

Tabular* 环境允许用户定义整个表格的总宽度,总宽度值由 {宽度} 参数定义。下列定义了一个撑满整个主页宽度的 3 栏表格:

```
\begin{tablar*}{\textwidth}{|c|c|c|}
```

利用该环境也可制作无线框表格。此时,只需将对齐中的竖线 “|” 和 \hline 省略。

2.4.2.3 table 和 figure 环境

这两个环境为浮动图表环境,在此环境下可以方便地设置图表在页面上的位置,并且可以使用前面的 tabbing 和 tabular 环境中所描述的制表方法和制表命令。浮动图表环境为合理利用版面提供了可能,因为在 tabbing 和 tabular 两环境中制作的图表均只能定位在当前行,若当前位置放不下此图表, LATEX 就将图表放于下一页,而当前行及以下版面均空着。table 和 figure 环境则不同,它们有多种定位选择, LATEX 总能从中选择一种合适的定位方式,若当前位置放不下图表,则 LATEX 有可能将图表上移,而将上面的文字下移,或者将图表放于下一页,而将后面的文字提前到当前页排版。总之,使用这两个环境制图表,不会在版面上留下任何的空白。此环境有选项,引用格式为:

```
\begin{table/figure}[定位参数]
... 图表内容...
\end{table/figure}
```

定位参数包括如下四个可选项。

b: 图表定位于页底;

h: 图表定位于当前页;

t: 图表定位于页顶;

p: 图表单独占一页。

定位参数可以是上面的任意一个, 也可以是某几个的组合, 如 t,l,b 或 thb。选择多个定位参数时, LATEX 将自动选择所给几种方式中最合适的一种。LATEX 的默认定位选项为 thp。

2.4.2.4 picture 环境

在此环境中, 可以利用 LATEX 的画圆、画线、画矢量和画圆角矩形等命令制作简单的线条和曲线图形。LATEX 的图形功能是比较弱的, 若要制作复杂图形, 还得使用别的图形软件, 而且要在文中留一空处。此环境有选项引用, 引用格式为:

```
\begin{picture}(num1,num2)
... 图形命令...
\end{picture}
```

其中参数 num1, num2 为十进制数, 它们分别为绘图区的长度和宽度, 单位为步。num2 小于零时, 表示绘图区的宽度为零, 此时绘制的图形与上面 (绘图命令中 y 坐标为正时) 或下面 (绘图命令中 y 坐标为负时) 的内容重叠。此环境中的绘图命令均默认绘图区的左下角为坐标原点 (0, 0)。因此, 绘图命令中的 y 坐标为正时, 绘制的图形在绘图区内; 反之, 若坐标为负, 则绘制的图形在绘图区的下面, 即图形不在绘图区内, 与下面的内容重叠。此环境的应用例子将在第 3.10 节中给出。

2.4.3 数学环境

数学环境主要用于数学公式的排版, 数学符号的产生和数学公式的自动编号等。

2.4.3.1 math 环境

此环境用于文中公式和数学符号的产生。此环境下产生的数学公式不编号, math 环境与用 $\$...$ 或 $\backslash(...\backslash)$ 把公式或数学符号括起来是等价的。该环境的格式为:$

```
\begin{math}
数学公式
\end{math}
```

其中数学公式需按数学公式的输入方式排版, 此环境引用中无选项。例如要产生如下内容:

This is an example of a formula in text line, $x^2 + y^2 = z^2$, it is the second order equation.

则可按如下三种方式之一输入:

This is an example of a formulal in text line, $\backslashbegin{math} x^2 + y^2 = z^2$

`\end{math}`, it is the second order equation.

或

This is an example of a formula in text line, $x^2+y^2=z^2$, it is the second order equation.

或

This is an example of a formula in text line, $(x^2+y^2=z^2)$, it is the second order equation.

2.4.3.2 displaymath 环境

此环境用于单独占行但不编号的数学公式的排版, 它与用 $\$ \cdots \$$ 或 $\left[\cdots \right]$ 把公式括起来等价。该环境的格式为:

```
\begin{displaymath}
数学公式
\end{displaymath}
```

其中数学公式也需按数学公式的输入方式排版, 此环境引用中无选项。例如要产生下面的公式:

$$x^3 + y^3 = \sqrt[4]{x^6 + z^4}$$

要按下面三种方式之一输入:

```
\begin{displaymath}
x^3+y^3=\sqrt[4]{x^6+z^4}
\end{displaymath}
```

或

```
 $x^3+y^3=\sqrt[4]{x^6+z^4}$ 
```

或

```
 $[x^3+y^3=\sqrt[4]{x^6+z^4}]$ 
```

2.4.3.3 equation 环境

此环境用于单独占行并自动编号的数学公式的排版。该环境的格式为:

```
\begin{equation}
数学公式
\end{equation}
```

其中数学公式也需按数学公式的输入方式排版; 此环境引用中无选项。例如要产生如下

公式:

$$\sin x + \cos x = \tan x \quad (1)$$

则可按如下输入:

```
\begin{equation}
\sin x + \cos x = \tan x
\end{equation}
```

2.4.3.4 array 环境

此环境用于复杂的数学公式、矩阵和行列式等的排版,并提供按某种对齐方式排版。如有些公式占多行,要求多行之间以某种方式对齐,用此环境排版是非常方便的。此环境引用中有选项,引用格式为:

```
\begin{array}{对齐方式选择}
公式内容
\end{array}
```

其中对齐方式选择是指阵列中各列元素的对齐方式,包括居中(c)、左边齐(l)和右边齐(r)。

下面几个例子显示了怎样使用此环境排印复杂的公式。

[例 2-1] 排印矩阵:

$$\left(\begin{array}{ccc} a & b & c \\ d & e & f \\ & g & h \\ & & x \end{array} \right)$$

利用 array 环境输入如下:

```
\left( \begin{array}{c}
\left[
\begin{array}{ccc}
a & b & c \\
d & e & f \\
& g & h \\
& & x
\end{array}
\right]
\end{array} \right)
```

`\right) \]`

此例中使用了 `array` 环境嵌套, 应注意嵌套方法。

[例 2-2] 排印行列式:

$$\begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nn} \end{vmatrix}$$

利用 `array` 环境输入如下:

```
\[ % The entrance of displaymath mode
\left| % Make left vertical line
\begin{array}{llcl}
x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\
x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\
\vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nn}
\end{array}
\right| % Make right vertical line
\]
```

上面输入中的符号 `&` 为列分隔符, `\left` 和 `\right` 分别为产生左定界符和右定界符命令, 要产生的具体定界符号紧跟其后, `\left` 和 `\right` 命令必须成对, 即使不需要产生右定界符时, 为了使 “`\left`” 和 “`\right`” 命令配对, 也必须用 “`\right.`” 命令结束, 如例 2-3。注意这种情况中 `\right` 命令后的点是必需的。

[例 2-3] 排印如下多条件方程:

$$T(x) = \begin{cases} O(x), & \text{if } a < c, \\ O(x \log x), & \text{if } a = c, \\ O(e^x), & \text{if } a > c. \end{cases}$$

输入如下:

```
\[ T(x)= \left\{
\begin{array}{ll}
O(x), & \{\rm if\} \ a < c, \\
O(x \log x), & \{\rm if\} \ a = c, \\
O(e^x), & \{\rm if\} \ a > c.
\end{array}
\right. % Notice the point followed after \right command.
```


\]

注意 “\right.” 命令后的点。

2.4.3.5 eqnarray 环境

此环境兼有 array 和 equation 两环境的特点, 特别适合排印复杂的多行公式和方程组, 产生的多行公式自动顺序编号。和 equation 环境一样, 此环境也不需要专门进入数学状态, 使用时它将自动进入数学状态。此环境的引用格式为:

```
\begin{eqnarray}{ 对齐方式选择 }
公式内容
\end{eqnarray}
```

其中对齐方式选择包括居中 (c)、左边齐 (l) 和右边齐 (r)。

[例 2-4] 排印如下方程组:

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 + z^2 &= 34 & (2) \\ x + y + z &= 10 & (3) \\ x + 10y &= 20 & (4) \end{aligned}$$

输入如下:

```
\begin{eqnarray }
x^2+y^2+z^2 &=&34\\
x+y+z &=&10 \\
x+10y &=&20
\end{eqnarray}
```

若不需对各个公式进行顺序编号, 则此环境的格式改为:

```
\begin{eqnarray*}{ 对齐方式选择 }
公式内容
\end{eqnarray*}
```

[例 2-5] 排印如下无编号的方程组:

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 + z^2 &= 34 \\ x + y + z &= 10 \\ x + 10y &= 20 \end{aligned}$$

输入如下:

```
\begin{eqnarray* }
```

```
x^2+y^2+z^2 &=34\\
x+y+z &=10 \\
x+10y &=20
\end{eqnarray*}
```

附注: 利用 “`\cr\noalign{\vskip2truemm}`” 代替上述对齐方式的换行符号 “`\\`”, 可以将行间距加宽 (到 2mm); 若需要加到更大的行距, 则将 “2truemm” 的数字 “2” 换成其他数字即可。

本章描述了 LATEX 系统的主要环境变量, 并给出了一些简单的应用例子。详细、灵活的应用实例请参阅第 4 章和附录中的两篇完整的文章实例。对于未讲述到的不常用环境, 可参阅软件中大量的扩展名为 “.tex” 的文件。

第 3 章 LATEX 命令集

前面, 我们已经介绍了不少 LATEX 命令, 如 `\left`, `\right`, `\hline`, `\item` 和 `\partial` 等。读者可以发现这些 LATEX 命令均由 `\` 符号引导。本章将分类介绍一些常用的 LATEX 命令。

3.1 文献形式命令 `\documentstyle`

`\documentstyle` 命令位于源文件的第一行, 它的格式为:

```
\documentstyle[options]{style}
```

其中:

(1) `options` 选项用于文献的字号、版式和数学公式的编号及对齐方式等的选择, `options` 的可选参数如下:

$\text{options} = \left\{ \begin{array}{ll} 11\text{pt}, 12\text{pt} & \text{(字号选择)} \\ \text{twoside, twocolumn, titlepage, proc} & \text{(版式选择)} \\ \text{leqno, fleqn} & \text{(公式及其编号对齐方式选择)} \end{array} \right.$	
--	--

(2) `style` 参数为文献形式选择, LATEX 包括四种标准文献形式, 即文章 (`article` < 英文 >、`carticle` < 中文 >)、报告 (`report`)、书籍 (`book`) 和信件 (`letter`)。

(3) LATEX 默认的字号为 10pt, 若要放大文献的字号, 则可选 11pt 或 12pt, 这样可将字符分别放大 10% 或 20%。

(4) LATEX 默认的版式为单面式, 若要双面输出, 则可选 `twoside` 选项, 若要版面分左右两列排印, 则可选 `twocolumn` 选项。在 `book` 和 `report` 文献中, 标题内容单独占一页; 而在 `article`、`carticle` 文献中, 标题内容不单独占一页。若也要求标题内容单独占一页, 可选 `titlepage` 选项。此外, LATEX 还提供了 `proc` 版式, 专用于排印符合 ACM 和 IEEE 组织要求的会议录文献。

(5) LATEX 默认的数学公式版式为居中, 编号在公式右边并右对齐。若要编号在公式左边并左对齐, 可选 `leqno` 选项; 若要公式左对齐, 可选 `fleqn` 选项。

注: `options` 选项可以是上述的任意一项, 也可以同时选择多项, 多个选项之间用逗号分开。如:

```
\documentstyle[11pt, fleqn, twoside]{article}
```

应注意的是: 选择多个选项时, 选项之间不能冲突, 也不能和文献形式冲突。如: 在非 `article` 形式中, 就不能选 `proc` 选项。但是, `leqno` 和 `fleqn` 两项可以同时选择。

3.2 字体命令

3.2.1 罗马字体命令 `\rm`

该字体为 LATEX 的默认字体, 命令格式为:

`{\rm 内容}`

注意: 左右两边的花括号一定不能少, 这个格式可以在数学公式环境中使用, 使得被该命令说明的字符为正体罗马字体。

3.2.2 黑体命令 `\bf`(英文)、`\heiti`(中文)

该命令产生醒目的黑体字符, 命令的引用格式和注意事项与 `\rm` 类似, 黑体的重要应用之一是强调, 如 `description` 环境中列举条款的引导符为黑体。例如, 输入 `{\bf China}` 产生的排版式为 **China**, 又如输入 `{\heiti 中国}` 产生的排版式为 中国。

3.2.3 意大利字体命令 `\it`

该命令产生意大利字符 (即斜体), 引用格式与前两种字符类似。例如, 输入 `{\it China}` 产生的排版式为 *China*。

注: 这种字体只对西文起作用。

3.2.4 小号大写字体命令 `\sc`

该命令产生与小写字符尺寸相同的大写字母, 即位于此命令作用域内的大写字符的高度被压缩到与小写字符一样高。命令引用格式与前一种字体类似。例如, 输入 `{\sc Abcde}` 产生的排版式为 ABCDE。

注: 这种字体也是只对西文起作用。

3.2.5 斜体命令 `\sl`

该命令产生斜体字符, 命令格式同上。例如, 输入 `{\sl China}` 产生的排版式为 *China*。

注: 这种字体也是只对西文起作用。

3.2.6 打字机体命令 `\tt`

该命令产生打字机风格的字符, 命令格式同上。例如, 输入 `{\tt China}` 产生的排版式为 China。

注: 这种字体也是只对西文起作用。

3.2.7 花体命令 `\Cal`

该命令产生花体风格的字符, 命令格式同上。例如, 输入 `$\Cal CHINA$` 产生的排版式为 *CHINA*。

注：这种字体只对数学模式中的西文大写字母起作用。

3.2.8 强调型字体命令 `\em`

该命令是强调型字体命令，并不是一种新的字体，但仍是上述七种字体之一。LATEX 规定，如果当前字体为罗马字体，则强调型为意大利字体；如果当前字体为非罗马字体，则强调型为罗马字体。例如，输入 `{\em China}` 产生的排版式样为 *China*。

注：这种字体也是只对西文起作用。

3.2.9 汉字字体

对应于 11pt 选项时的 4 种汉字字体的字样，列于表 3.1 中。

表 3.1 4 种汉字字体及其所对应的字样

字体	对应的字样
<code>\songti</code>	宋体字样
<code>\kaishu</code>	楷体字样
<code>\fangsong</code>	仿宋体字样
<code>\heiti</code>	黑体字样

注：这 4 种字体只适用于中文的状态。

3.3 字号命令

字号命令用于定义字符的大小，LATEX 字符的大小以点为单位，点定义为 1/72.27 英寸，并用 pt 表示。LATEX 定义了 10 种标准字号，列于表 3.2 中。

表 3.2 10 种标准字号命令及其对应的字符点数

字号命令	10pt default	11pt option	12pt option
<code>\tiny</code>	5pt	6pt	6pt
<code>\scriptsize</code>	7pt	8pt	8pt
<code>\footnotesize</code>	8pt	9pt	10pt
<code>\small</code>	9pt	10pt	11pt
<code>\normalsize</code>	10pt	11pt	12pt
<code>\large</code>	12pt	12pt	14pt
<code>\Large</code>	14pt	14pt	17pt
<code>\LARGE</code>	17pt	17pt	20pt
<code>\huge</code>	20pt	20pt	25pt
<code>\Huge</code>	25pt	25pt	25pt

字号命令的引用格式为:

{命令 内容 }

例如:

{ \small This is a small character }

LATEX 软件默认的字号为 10pt, 此时, 表 3.2 中所有字号命令分别对应表中第二列中的点数。若在 \documentstyle 命令的选项中选择 11pt, 即

\documentstyle[11pt]{article}

则上面表 3.2 中所有字号分别对应于表中第三列的点数。若选 12 pt, 即:

\documentstyle[12pt]{article}

则上面表 3.2 中所有字号命令分别对应于上表中第四列的点数。

当选项为 11pt 时, 10 种汉字字号所对应的字符大小列于表 3.3 中。

表 3.3 10 种汉字字号及其对应的字样

汉字字号	对应的字样
\zihao{7}	七号字样
\zihao{6}	六号字样
\zihao{-5}	小五号字样
\zihao{5}	五号字样
\zihao{-4}	小四号字样
\zihao{4}	四号字样
\zihao{3}	三号字样
\zihao{2}	二号字样
\zihao{1}	一号字样
\zihao{0}	初号字样

注: 这 10 种字号只适用于中文的状态。中西文的字号和字体可以搭配使用。

当选项为 11pt 时, 10 种西文字号所对应的字符大小列于表 3.4 中。

表 3.4 10 种字号及其对应的字样

字号	对应的字样
<code>\tiny</code>	Test character size
<code>\scriptsize</code>	Test character size
<code>\footnotesize</code>	Test character size
<code>\small</code>	Test character size
<code>\normalsize</code>	Test character size
<code>\large</code>	Test character size
<code>\Large</code>	Test character size
<code>\LARGE</code>	Test character size
<code>\huge</code>	Test character size
<code>\Huge</code>	Test character size

注：这 10 种字号同时适用于中西文的文献。

3.4 文献头命令

任何一种文献都有一个头，其中包括文献标题、作者、地址、时间。LATEX 提供了自动排印这些信息的命令。

3.4.1 标题命令 `\title`

该命令用于产生文献的题目，其格式为：

`\title{标题名}`

LATEX 默认的标题字号为 `\huge`，字体为 `\bf`(西文) 或 `\heiti`(中文)。若需要改变标题的字体和字号，可利用上面介绍的字体和字号命令实现。

3.4.2 作者命令 `\author`

该命令用于作者名和地址的产生，其格式为：

`\author{作者名 \\ 地址}`

作者名与地址之间用换行符 `\\` 分开，以便作者名和地址分别排在不同的行上。若不需排出作者名与地址，也必须写此命令，且应写为 `\author{}`，即括号内为空。

3.4.3 日期命令 \date

该命令用于日期的产生, 若略去该命令, LATEX 则自动产生当前日期, 命令格式为:

`\date{月日, 年}`

若想删去日期, 则写成 `\date{}`, 即括号内为空。

3.4.4 头命令 \maketitle

该命令产生文献头, 即将 `\title`, `\author` 和 `\date` 命令中的内容按 LATEX 格式排印出来。制作文献头的一般输入格式为:

```
\documentstyle{article/carticle} % Choose article style
\title{文章名}
\author{作者名 \\ 地址}
\maketitle
\begin{document}
...文章内容...
\end{document}
```

其中 `article/carticle` 为两种文献选其一, 下同。

若要文章头内包括摘要, 可利用 ABSTRACT 环境产生。若要文章头和摘要各单独占一页, 可加 `titlepage` 选项。对于 `book` 和 `report` 形式, 则不必加此选项。满足上述两项要求的文章头输入格式为:

```
\documentstyle[titlepage]{article/carticle}
\title{文章名}
\author{作者名 \\ 地址}
\date{月日, 年}
\begin{abstract}
...摘要内容...
\end{abstract}
\maketitle
\begin{document}
...文献内容...
```



```
\end{document}
```

3.4.5 注释命令 \thanks 或 \footnote(text*)

此命令用于产生注释，命令格式为：

```
\thanks{注释内容 } 或 \footnote
```

其中，注释内容以 \footnotesize 字号排在标题页的底部，通常注释内容包括某作者的永久地址（对于访问学者）、说明课题的经费来源等。

注意此命令只适用于 article 和 carticle 形式，并且没有 titlepage 选项，例如：

```
\documentstyle{article}
\title{文章名}
\thanks{This work is supported by National Science Foundation}}
\author{作者名 \thanks{Author's permanent address is ... } \ 地址 }
\date{月日, 年}
\begin{abstract}
...摘要内容...
\end{abstract}
\maketitle
\begin{document}
...文章内容...
.....
This is the last line on this page.
\end{document}
```

排版结果为：

文章名
作者名
地址
月日, 年
Abstract
...摘要内容...
...文章内容...
.....

This is the last line on this page.

*This work is supported by National Science Foundation...

†Author's permanent address is ...

3.5 章节命令

文献除了有头以外, 还有部分、章、节、段落等标题。LATEX 也为这些排印提供了专用命令。

3.5.1 部分命令 `\part`

该命令主要用于 book 和 report 形式文献的排印。对于大型报告和书, 可能要分成若干部分或若干用此命令排印。该命令的格式为:

```
\part{部分标题 }
```

排版结果单独占一页, 并且自动编号为 Part I, Part II 等。例如:

```
\part{Image restoration}
```

它的排版结果为:

Part I

Image restoration

3.5.2 章命令 `\chapter`

该命令也只用于 books 和 report 形式中, 用于产生章标题名, 该命令格式为:

```
\chapter{章标题 }
```

该命令自动开始一新页, 并顺序编号为 Chapter 1, Chapter 2 等。例如:

```
\chapter{Image enhancement}
```

排版结果为:

Chapter 1

Image enhancement

若不需章标题自动编号, 可输入 `\chapter*{章标题}`。

3.5.3 节命令 `\section`

该命令适合于除 letter 以外的另外三种形式文献, 用于产生节标题, 其格式为:

```
\section{节标题 }
```

节标题自动编号, 在 book 和 report 形式中, 编号格式为: 章号. 节号, 如 1.1, 1.2,

3.1 等。在 `article` , `carticle` 形式中, 编号为 1, 2 等。若不需要节编号, 可输入 `\section*{节标题}`。

节标题单独占一行, 并与上下文之间留有适当的间隔。

3.5.4 子节命令 `\subsection`

该命令用于产生子节标题, 并自动编号。在 `book` 和 `report` 形式中, 编号格式为: 章号 . 节号 . 子节号, 如 1.1.1, 1.1.2 等。在 `article` 形式中, 编号格式为: 节号 . 子节号, 如 1.1 . 2.1 等。若不需编号, 可输入 `\subsection*{子节名}`。依次类推, 还有 `\subsubsection{子子节标题}`、`\subsubsubsection{子子子节标题}`。

3.5.5 段命令 `\paragraph`

该命令适合于除 `letter` 以外的任何文体, 用于产生段标题, 段落标题不自动编号。该命令重起一段, 但段落标题不单独占一行, 与文献内容排在同一行上, 只是字体与文献内容的字体不同。格式为:

```
\paragraph{段标题}
```

和 `\section` 命令一样, 还有子段命令 `\subparagraph`, `\sub ... subparagraph` 等。

3.5.6 附录命令 `\appendix`

该命令用于排版 `book` 和 `report` 形式文献中的附录, 在此命令之后的内容被 LATEX 视为附录内容。在 `\appendix` 命令后仍可用 `\chapter` 和 `\section` 等命令, 这时 `\chapter` 命令产生的编号为 Appendix A, Appendix B 等, 而不再是 Chapter 1, Chapter 2; `\section` 命令产生的编号为 A.1, A.2, B.1, B.2 等。例如:

```
\documentstyle{book}
\begin{document}
\chapter{first chapter}
...内容...
\section{first section in chapter 1}
...内容...
\appendix
\chapter{first appendix}
...内容...
\section{first section in first appendix}
...内容...
\end{docuemnt}
```

排版结果为:

Chapter 1 % (开始一新页)

first chapter

…内容…

1.1 first section in chapter 1

…内容…

Appendix A % (开始新一页)

first appendix

…内容…

A.1 first section in first appendix

…内容…

3.6 页注命令

页注命令用于控制头注和脚注的有无及排版方式, 页码的排印方式以及控制页边注的有关参数。

3.6.1 页式命令 `\pagestyle`

该命令控制头注与脚注的有无及排版方式, 页码的排版方式, 其格式为:

`\pagestyle{options}`

参数 `options` 为选项, 其可选参数及其意义如下:

(1) `plain`——表示页码写在脚注区, 页眉为空, 这是 `article` 和 `report` 文献形式的默认版式, 即 LATEX 的默认选项。

(2) `empty`——表示页眉和页脚均空 (空头注, 空脚注), 即不显示页码。

(3) `headings`——表示页脚为空, 页码在页眉上。LATEX 系统自动把正文内的章节信息等提出放在页眉内。选择 `headings` 选项时, 头注的格式取决于文献形式。如果是单面输出, 对于 `book` 和 `report` 形式, 章名和页号作为头注; 对于 `article` 和 `carticle` 形式, 节名和页号作为头注。若是双面输出, 对于 `book` 和 `report` 风格, 章名和页号作为偶数页的头注, 节名和页号作为奇数页的头注; 对于 `article` 形式, 节名和页号作为偶数页的头注、子节名和页号作为奇数页的头注。

(4) `myheadings`——功能同 `headings`。不同之处在于 `myheadings` 选项允许作者设置自己所需的头注。对于单面输出, 可使用 `\markright` 命令设置头注内容, 其格式为:

`\markright{头注内容}`

对于双面输出, 可使用 `\markboth` 命令设置头注内容, 其格式为:

`\markboth{左页头注内容}{右页头注内容}`

在任何形式的文献中, 头注均不会出现在第一页上, 也不会出现在每章的开始页上。

3.6.2 头注命令

3.6.2.1 边距命令 `\topmargin`

当页式命令 `\pagestyle` 中选择 `headings` 和 `myheadings` 时, 必须告诉系统头注设置在距正文多远的地方。此命令则用于设置头注与页主体顶部边缘之间的距离。

格式为:

`\topmargin size`

其中 `size` 为要设置的距离尺寸, 它可以以点 (pt)、英寸 (in)、毫米 (mm)、厘米 (cm) 等单位。该命令位于序言区, 注意数字与单位之间不得留有任何空格。如 10in 不能写成 10 in。

3.6.2.2 头注高度命令 `\headheight`

该命令定义头注区高度, 其引用格式同上, 并且命令位于序言区。

3.6.2.3 头注间距命令 `\headsep`

此命令定义头注区底部到正文顶部之间的距离, 其引用格式同上。

3.6.3 脚注命令

3.6.3.1 脚注内容命令 `\footnote`

当页式命令中选择了有脚注时, 脚注内容则由此命令产生。其引用格式为:

`\footnote[num]{脚注内容}`

选项 `num` 应是一个十进制数字, 作为脚注的编号。若忽略 `num` 选项, LATEX 则为脚注自动顺序编号。编号方式与文献形式有关, 对于 `article` 和 `carticle` 形式, 编号从 1 开始。对于 `book`, `report` 文献形式, 以章为单位, 每章间的编号均从 1 开始。注意此命令应紧跟在需要标脚注编号的字后面, 并且与字间不留空格。

3.6.3.2 脚注区高度命令 `\footheight`

此命令定义脚注区的高度, 格式同 `\headheight` 命令。

3.6.3.3 脚注定位命令 `\footskip`

此命令定义脚注区底部与正文底部之间的距离, 格式同上。

3.6.3.4 脚注间距命令 `\footnotesep`

当一页内有多个脚注时, 脚注区的脚注内容行之间的行间距由此命令设置, 其格式同上。

应用上述命令输入的源文件的一般格式为:

```
\documentstyle{book}
\pagestyle{myheadings}
\topmargin ?pt
\headheight?cm
\headsep ?cm
\footnotesep ?mm
\footnoteskip ?cm
\markright{头注内容 }
\begin{document}
```

This is an example on usage of `pagestyle`, `head` and `footnote` commands. The first footnote is shown here `\footnote{脚注内容一 }`, ... The character `?` followed after commands in the above example denotes the required size `\footnote{脚注内容二 }`, ...

```
\end{document}
```

注: 上例显示的是单面输出格式的例子, 对于双面输出格式, 应将上例中的 `\markright` 命令改成 `\markboth` 命令, 此命令的格式见前面的注解。对于初学者, 上述命令不一定一开始就使用, 可以首先利用系统的默认格式, 若发现版面结构不符合要求, 再有针对性地使用相应的命令进行修改。上例中的“?”符号表示尺寸值。

3.6.4 边注命令

3.6.4.1 边注区宽度命令 `\marginparwidth`

此命令设置页的边沿中的注释区的宽度, 命令格式同上。

3.6.4.2 边注与正文间距命令 `\marginparsep`

该命令设置页边注释区与正文边缘之间的距离, 格式同上。

3.6.4.3 边注间距命令 `\marginparpush`

此命令设置多个边注之间的垂直间距, 格式同上。

3.6.4.4 边注命令 `\marginpar`

此命令设置边注的内容, 引用格式为:

```
\marginpar{边注内容 }
```

3.7 正文版式命令

正文版式命令用于设置正文的各种参数, 这些命令位于序言区。

3.7.1 正文宽度命令 `\textwidth`

此命令定义正文版面的宽度，引用格式为：

`\textwidth size`

其中，`size` 包括数字与单位，对于双列版式，此命令定义了左右两列宽度与列间距之和。例如，

`\textwidth145mm` 或 `\textwidth=14.5cm`

3.7.2 正文高度命令 `\textheight`

此命令定义正文版面，即页主体（包括正文、脚注，但不包括页眉和页脚）的高度，也就是页长度，格式同上。例如，

`\textheight210mm` 或 `\textheight=21cm`

3.7.3 奇页面边缘间距命令 `\oddsidemargin`

此命令定义双面输出中，奇数页上正文版面左边界与 LATEX 默认版面左边界之间的距离，LATEX 默认的版面左边界距页左边缘一英寸。命令格式同上。

3.7.4 偶页面边缘间距命令 `\evensidemargin`

此命令定义双面输出中，偶数页上正文版面左边界与 LATEX 默认版面左边界之间的距离，LATEX 默认左边界位置同上，命令格式同上。

3.7.5 双列转换命令 `\twocolumn`

在第 3.1 节中讲过，当在 `\documentstyle` 命令中选 `twocolumn` 选项时，文献一开始就被排版成双列式的，否则排版成单列式的。在单列式中，若想从文献中某处开始排为双列式的，则可用此命令转换。此命令后的文献被排版为双列式的，并自动另起一页。该命令的格式为：

`\twocolumn[text]`

其中选项 `[text]` 可省略；若有该选项，则 `text` 以通栏格式排印在新页的顶部。

例如：

```
\documentstyle{article}      % a single column style
\begin{document}
...内容一...
\twocolumn      % two column style, starts a new page
...内容二...
\end{document}
```

注：上述内容的排版结果为“内容一”排版为单列式；“内容二”排版为双列式，并开始新的一页。`[text]` 缺省，则排印为单栏（列）形式。

3.7.6 列间距命令 `\columnsep`

此命令定义双列版式中两列之间的列间距。格式同 `\textwidth` 命令。

3.7.7 列间画线命令 `\columnseprule`

若要在两列之间画一条竖直线, 则可用此命令。命令格式为:

```
\columnseprule size
```

命令中的 `size` 为线宽值, 如用 `1pt` 代替命令中的 `size`, 则表示线宽为一点。

3.7.8 单列转换命令 `\onecolumn[text]`

当文献格式设置为双列式或用命令转换成双列式时, 要想从文献内某处开始排版为单列式, 则可用此命令转换。此命令之后的文献被排为单列式, 并自动开始新的一页。例如:

```
\documentstyle[twocolumn]{article} % a two column style
\begin{document}
...内容一...
\onecolumn % one column style, starts a new page
...内容二...
\end{document}
```

上例中的排版结果为“内容一”排版为双列式, 而“内容二”在新的页上排版为单列式。

`\clearpage` 表示换新页, 在新页开始以单栏(列)格式输出是在一篇文章里同时出现单栏和双栏两种格式排印所需的命令。而 `\newpage` 表示开始一个新栏而不是开始一个新页。

3.7.9 段首退格命令 `\indent`

此命令要求每一新段的首行均要退格, LATEX 默认退格为两字符, 约 20pt。

3.7.10 非退格命令 `\noindent`

此命令的功能与 `\indent` 命令刚好相反, 取消新段首行的退格。

3.7.11 段首行退格设置命令 `\parindent`

此命令设置段首行后退距离, 是一个比 `\indent` 命令更一般的命令。`\indent` 命令的后退距离是默认的, 而此命令的后退距离是可设置的, 命令格式为:

```
\parindent size
```

其中, `size` 即为段首行后退距离, 其默认值为 20pt。

3.7.12 段间距命令 `\parskip`

此命令设置段之间的额外距离，即两个自然段之间除了正文两行之间的正常距离外，还增加 `\parskip` 的距离，格式同上。LATEX 默认的段间距为正常的行间距，即 `size` 值为 0pt。

3.7.13 行间距命令 `\baselineskip`

此命令用于改变 LATEX 的默认行间距值，格式同上。如论文手稿一般要求双行打印，则可用此命令设置较大的行距值，反之也可设置得比标准行距值小，最小行距值为零。此命令的默认值是 12pt。

`\baselinestretch` 是一个实参数，它用 `\renewcommand` 来修改，其默认值为 1.0，LATEX 系统的最小行距实际是由 `\baselineskip` 后的值乘以 `\baselinestretch` 后的值得到的。因此，调节 `\baselinestretch` 也可达到调节行距的目的。例如：

`\renewcommand\baselinestretch{1.5}` 表示可将行距调到默认行距的 1.5 倍。

3.7.14 行居中命令 `\centerline`

从第 2.4 节我们知道，`center` 环境可使一段文字居中。而 `\centerline` 命令可使单行文字居中，命令格式为：

```
\centerline{内容}
```

现在应用上述版式命令，源文献的一般格式为：

```
\documentstyle[twoside,twocolumn]{article}
\textwidth?in
\textheight?in
\columnsep?mm
\columnseprule?pt
\oddsidemargin? pt
\evensidemargin ?pt
\parskip?mm
\begin{document}
...内容段...
\noindent      % 取消段首行退格
...内容段...
\onecolumn     % 版面转换为单列式，并开始一个新页
...内容段...
\parindent?pt  % 定义新的段首行后退距离
...内容段...
```

```
\end{document}
```

其中, 符号 “?” 表示选择尺寸值。正文版面由 `\textwidth` 和 `\textheight` 命令设定后, 它的上下和左右边界也就确定。若需要局部改变版面的左右边界和页顶部位置, 可以利用下面的三个命令来完成。

3.7.15 顶部边界命令 `\topskip`

此命令改变由 `\textheight` 命令设置的页顶位置, 命令格式为:

```
\topskip size
```

新页顶部相对于原来页顶部的偏移距离为 `size`, 在此命令之后开始的新页的页顶将下移的距离为 `size`, 即新页的长度缩短了 `size`。`size` 的默认值为 10pt。要恢复到原来的页顶, 必须再次使用此命令, 并把 `size` 值设置为原来的值。

3.7.16 左边界命令 `\leftskip`

此命令可设置版面的左边界到新的位置, 命令格式为:

```
\leftskip size
```

其中, `size` 即为新的左边界相对于原左边界右移的偏移距离值, 它的默认值为 0pt。例如:

```
\documentstyle{article}
\textwidth135mm
\topskip0pt
\begin{document}
```

Electron cyclotron resonance microwave plasma CVD has been developed at low-pressures and at ambient and high substrate temperatures, to achieve large-area depositions of diamnd-like amorphous carbon films . The application of a rf bias to the ...

```
\leftskip1in
```

Electron cyclotron resonance microwave plasma enhanced CVD is an emerging thin film deposition technology. Great interest has been generated in applying this technology to diamond-like, amorphous carbon and diamond thin film depositions. ECR plasma are typically produced at low gas pressures to achieve ...

```
\end{document}
```

排版结果为:

Electron cyclotron resonance microwave plasma CVD has been developed at low-pressures and at ambient and high substrate temperatures, to achieve large-area de-

positions of diamnd-like amorphous carbon films. The application of a rf bias to the ...

Electron cyclotron resonance microwave plasma enhanced CVD is an emerging thin film deposition technology. Great interest has been generated in applying this technology to diamond-like, amorphous carbon and diamond thin film depositions. ECR plasma are typically produced at low gas pressures to achieve ...

要恢复原来的左边界, 必须再次使用此命令, 并把 size 值设置为原值.

3.7.17 右边界命令 `\rightskip`

此命令设置版面的右边界到新的位置, 命令格式为:

`\rightskipsize`

其中, size 即为新的右边界相对于原来右边界的左移偏置距离, 它的默认值为 0pt。

例如:

```
\documentstyle{article}
\textwidth135mm
\topskip0pt
\begin{document}
```

Electron cyclotron resonance microwave plasma CVD has been developed at low-pressures and at ambient and high substrate temperatures, to achieve large-area depositions of diamnd-like amorphous carbon films. The application of a rf biasto the substrate stage, which includes a negative self-bias voltage, is found to play a critical role in determining carbon bonding configurations and in modifying the film morphology ...

```
\rightskiplin
```

Electron cyclotron resonance microwave plasma enhanced CVD is an emerging thin film deposition technology. Great interest has been generated in applying this technology to diamond-like, amorphous carbon and diamond thin film depositions. ECR plasma are typically produced at low gas pressures to achieve ...

```
\end{document}
```

排版结果为:

Electron cyclotron resonansce microwave plasma CVD has been developed at low-pressures and at ambient and high substrate temperatures, to achieve large-area depositions of diamnd-like amorphous carbon films. The application of a rf biasto the substrate stage, which includes a negative self-bias voltage, is found to play a critical role in determining carbon bonding configurations and in modifying the film morphology ...

Electron cyclotron resonance microwave plasma enhanced CVD is an emerging thin film deposition technology. Great interest has been generated in applying this technology to diamond-like, amorphous carbon and diamond thin film depositions. ECR plasma are typically produced at low gas pressures to achieve ...

显然, 利用上述命令可以起到 minipage, quote 和 quotation 环境的效果。

3.8 编号格式命令

编号格式命令用于设置编号 (如页号、章节号等) 的表示方式, 编号的表示方式通常有阿拉伯数字、罗马数字、字母等, LATEX 提供了 5 种编号表示方式。

3.8.1 阿拉伯数字编号命令 \arabic

此命令设置各种编号的表示方式为阿拉伯数字, 即 1, 2, 3 等, 这是 LATEX 的默认页码、章节和方程编号的表示方式。命令格式为:

```
\arabic{options}
```

其中, options 为参数, 它为各种计数器名, 如 page, chapter, equation 等。详尽计数器名见第 3.9 节中的表 3.5。用命令自定义的计数器名也可用于此命令。

3.8.2 小写罗马数编号命令 \roman

此命令设置编号表示方式为小写罗马数字, 即 i, ii 等。如 enumerate 环境中第三级嵌套的编号默认为小写罗马数字, 命令格式同上。

3.8.3 大写罗马数字编号命令 \Roman

此命令编号表示方式为大写罗马数字, 即 I, II 等。如 cnumenrate 命令产生的编号即为此格式, 命令格式同上。

3.8.4 小写字母编号命令 \alph

此命令设置编号表示方式为小写英文字母, 即 a, b, c 等。如 enumenrate 环境中第二级嵌套的编号即为此格式, 命令格式同上。

3.8.5 大写字母编号命令 \Alph

此命令设置编号表示方式为大写英文字母, 即 A, B, C 等。如附录中的章编号和 enumenrate 环境中第四级嵌套的编号均为此格式, 命令格式同上。

应用上述 5 个命令可以改变各种计数器的默认编号格式, 方法是在序言区使用 \renewcommand 命令, 例如:

```
\documentstyle{book}
```

```

\renewcommand{\thepage}{\roman{page}}
%Set page number as roman style
\renewcommand{\thechapter}
{\Roman{chapter}}
% Set chapter number as capital roman style
\renewcommand{\theequation}{\alph{equation}}
% Set equation numbering as lower alphabetic style
...
\begin{document}
\chapter {... }
\begin{equation}
.....
\end{document}

```

排印结果中页码为 i, ii 等; 章编号为 I, II 等; 方程编号为 a, b, c 等, 而不再是 1, 2。注意, `\renewcommand` 命令中要修改的计数器名前需加 `\the`。

3.8.6 页码方式设置命令 `\pagenumbering`

对页码方式的设置, 除上面描述的 5 种命令 (page 选择) 外, 还提供了一种专用命令 `\pagenumbering`, 其格式为:

```
\pagenumbering{options}
```

其中, `options` 为可选参数, 其可选值包括 `arabic`, `roman`, `Roman`, `alph` 和 `Alph`, 它们分别设置页码格式为阿拉伯数字、小写罗马数字、大写罗马数字、小写英文字母和大写英文字母。又如:

```
\renewcommand{\thepage}{--\arabic{page}--}
```

排印页码结果为:

– 页码 (arabic)–

3.9 计数器命令

LATEX 中的所有自动编号都基于计数器中的值, 如章编号基于章计数器中的值, 方程编号基于方程计数器中的值。LATEX 初始化各种计数器值为 0 或者 1, 然后顺序递增, 所以 LATEX 的自动编号总是连续的。若想人为干预编号顺序, 就必须改变计数器的值, LATEX 提供了两个改变计数器值的命令和一个自定义的新计数器的命令。

3.9.1 初值设置命令 `\setcounter`

此命令设置计数器的初值为任意给定值, 命令格式为:

```
\setcounter{计数器名}{num}
```

其中, `num` 为要设置的初值, 它是一个非负的整数。LATEX 定义的所有计数器列于表 3.5。

3.9.2 增量命令 `\addtocounter`

此命令也用于改变各种计数器的值, 其引用格式为:

```
\addtocounter{计数器名}{增量}
```

其中, 计数器名包括在表 3.5 中的所有计数器, 增量为任意整数, 计数器中的新值为原值与增量之和。当增量为正时, 计数器值增加, 反之减少。

表 3.5 LATEX 计数器及其意义

计数器名	意义与作用范围
<code>chapter</code>	章计数器, 用于章编号计数
<code>enumi</code>	<code>cnumerate</code> 环境计数器, 用于此环境中列举条款编号计数
<code>enumii</code>	第二级 <code>cnumerate</code> 环境计数器, 用于第二级嵌套中列举条款编号计数
<code>enumiii</code>	第三级 <code>cnumerate</code> 环境计数器, 用于第三级嵌套中列举条款编号计数
<code>enumiv</code>	第四级 <code>cnumerate</code> 环境计数器, 用于第四级嵌套中列举条款编号计数
<code>equation</code>	方程计数器, 用于方程编号计数
<code>figure</code>	插图计数器, 用于插图编号计数
<code>footnote</code>	脚注计数器, 用于脚注编号计数
<code>mpfootnote</code>	小页脚注计数器, 用于 <code>minipage</code> 环境产生的小页中的脚注编号计数
<code>page</code>	页计数器, 用于页码计数
<code>paragraph</code>	段计数器, 用于段编号计数
<code>part</code>	部分计数器, 用于部分编号计数
<code>section</code>	节计数器, 用于节编号计数
<code>subsection</code>	子节计数器, 用于子节编号计数
<code>subparagraph</code>	子段计数器, 用于子段计数
<code>subsubsection</code>	子子节计数器, 用于子子节编号计数
<code>table</code>	表格计数器, 用于表格编号计数

3.9.3 计数器定义命令 `\newcounter`

除了表 3.5 中已定义的计数器外, 用户还可用此命令自定义新的计数器, 新定义的计数

器名也可用于上述两命令和编号格式命令中。命令格式为:

`\newcounter{新计数器名}`

注意: 新定义的计数器名不能与表 3.5 中的计数器同名。

3.10 数学格式命令

数学格式命令是指在数学格式下才有效的命令, 本节介绍的命令均要在数学格式中使用。

3.10.1 分式命令 `\frac`

此命令用于排印分式, 命令格式为:

`\frac{分子}{分母}`

例如, 要排印 $\frac{x}{y}$, 可输入: `$\frac{x}{y}$`。

3.10.2 根式命令 `\sqrt`

此命令用于根式的排版, 格式为:

`\sqrt[n]{内容}`

其中, n 为根次幂。例如, 公式 $\sqrt{x+y}$ 可输入为 `\(\sqrt{x+y}\)`。排印公式 $\sqrt[n]{x}$ 输入为 `$\sqrt[n]{x}$`。平方根中的 $[2]$ 可略去。

3.10.3 下横省略号命令 `\ldots`

此命令产生省略符号 \cdots , 符号居于行下部。例如, 排印 x_1, x_2, \dots, x_n 输入的格式为 `x_1, x_2, \ldots, x_n`。此命令也可用于非数学状态。

3.10.4 中横省略号命令 `\cdots`

此命令用于产生省略符 \cdots , 位置居于行中。例如 $y_1 + y_2 + \cdots + y_n$ 可输入为 `\(y_{-1}+y_{-2}+\cdots+y_{-n}\)`。

3.10.5 竖直省略号命令 `\vdots`

此命令产生竖直省略符号, 即相当于 `\cdots` 命令产生的符号旋转了 90 度。

3.10.6 斜省略号命令 `\ddots`

此命令产生斜省略符号, 即相当于 `\cdots` 命令产生的符号顺时针旋转 45 度的结果。

3.10.7 增字间距命令 $\backslash!$ 、 $\backslash,$ 、 $\backslash:$ 、 $\backslash;$ 和 \backslashover

LATEX 自动处理的字间距一般为一个字符,若要特别加大某处的字间距,可用这 5 个命令。这 5 个命令产生的字间距均略大于标准字间距,将这些命令插入到需要加大字间距的地方,该处即产生较大的字间距。上面 5 个命令产生的字间距依次增大,其中“ $\backslash,$ ”命令也可用于文字状态。

3.10.8 下画线命令 \backslashunderline

为了强调,除了使用不同的字体以外,还可使用下画线,利用此命令即可在强调内容下部产生下画线,命令格式为:

$\backslashunderline{\text{强调内容}}$

例如:

The $\backslashunderline{\text{underline}}$ is used to denote $\backslashunderline{\text{emphasis}}$.

它的排印结果为:

The underline is used to denote emphasis.

此命令也可用在非数学状态。

3.10.9 上画线命令 \backslashoverline

在排印逻辑运算公式时,常会遇到逻辑非运算符,即在其上画线。利用此命令则可产生上画线。命令格式为:

$\backslashoverline{\text{内容}}$

例如:

This is an example of overline command, $\backslashoverline{x+y}=\backslashoverline{x}+\backslashoverline{y}$.

它的排印结果为:

This is an example of overline command, $\overline{x+y}=\overline{x}+\overline{y}$.

3.10.10 左定界符命令 \backslashleft

此命令产生大小随内容高度而变化的定界符,命令格式为:

\backslashleft 定界符

其中,此定界符紧跟命令,不要有空格。若要产生的定界符为 LATEX 控制符,如“{”、“}”、“&”等,则控制符应按表 2.1 中所示方式输入。例如要产生的定界符为“{”,则应输入 $\backslashleft\{$, 而不是 $\backslashleft\{$ 。此命令也可应用在非数学状态中。

3.10.11 右定界符命令 `right`

此命令与 `\left` 命令配成一对，产生右定界符，命令格式同上。`\left` 和 `\right` 命令必须成对，即使不需要产生对应的右定界符，也要用 “`\right.`” 命令结束。此命令也可应用在非数学状态中。

3.10.12 上括号命令 `\overbrace`

此命令产生上括号，命令格式为：

`\overbrace{内容}`

例如：

This is an example on usage of overbrace command, $\overbrace{x+y}$.

排印结果为：

This is an example on the usage of overline command, $\overbrace{x+y}$.

3.10.13 下括号命令 `\underbrace`

此命令产生下括号，命令格式为：

`\underbrace{内容}`

例如：

This is an example on the usage of underbrace and overbrace commands, $\overbrace{\underbrace{x+y}+z}$.

排印结果为：

This is an example on the usage of underbrace and overbrace commands, $\overbrace{\underbrace{x+y}+z}$.

3.10.14 偏微分命令 `\partial`

此命令用于产生偏微分符号，命令格式为：

`\partial` 变量名

下面的实例显示了此命令的应用。例如要排印如下的二阶非齐次微分方程式：

$$\frac{\partial^2 U(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U(x, y)}{\partial y^2} = f(x, y)$$

可照如下源文件输入：

```
\[
\frac{\partial^2 U(x,y)}{\partial x^2} +
```

`\frac{ \partial^2 U(x,y) }{ \partial y^2 } = f(x,y)`
`\]`

3.10.15 除法命令 `\over`

命令 `\over` 除了可作为字间隔调节命令外, 还可作为除法命令, 格式为:

分子 `\over` 分母

例如, `$a\over b$` 的排版结果为 $\frac{a}{b}$ 。

3.10.16 乘法命令 `\times`

此命令产生乘号 \times , 如 `$a\times b$` 的排版结果为 $a \times b$ 。

3.10.17 上下限命令 `\limits`

上下角标是分别位于变量的右上、右下角的, 此命令则可使上下角标变为上下限, 如积分的上下限的排印则可用此命令, 例如:

`$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx$$`

排版结果为:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx$$

而

`$$\int\limits_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx$$`

排版结果为:

$$\int\limits_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx$$

此命令必须跟在数学字符后面, 即此命令前的符号必须是表 2.2~ 表 2.11 中的某一个。

3.11 图表命令

图表命令是指用于 `array`, `tabular`, `table`, `figure` 和 `picture` 环境的命令。

3.11.1 阵列间距命令 `\arraycolsep`

此命令调节 `array` 环境中阵列的列间距, 格式为:

`\arraycolsepsize`

其中, `size` 即为要设置的列间距值, 例如:

```
\[
\begin{array}{ccc}
AAA & & \& BBB & & \& CCC\\
ddd & & \& eee & & \& fff\\
\end{array}
\]
```

排印结果为:

<i>AAA</i>	<i>BBB</i>	<i>CCC</i>
<i>ddd</i>	<i>eee</i>	<i>fff</i>

而

```
\arraycolseplin
\[ \begin{array}{ccc}
AAA & & \& BBB & & \& CCC\\
ddd & & \& eee & & \& fff\\
\end{array}
\]
```

排印结果为:

<i>AAA</i>	<i>BBB</i>	<i>CCC</i>
<i>ddd</i>	<i>eee</i>	<i>fff</i>

3.11.2 表格列间距命令 `\tabcolsep`

此命令调节 `tabular` 环境中表的列间距, 格式同上。例如:

```
\begin{tabular}{|c|c|c|}
\hline
AAA & & \& BBB & & \& CCC \\
\hline
ddd & & \& eee & & \& fff
\end{tabular}
```

```
\hline
\end{tabular}
```

排印结果为:

AAA	BBB	CCC
ddd	eee	fff

而

```
\tabcolsep0.5in
\begin{tabular}{|c|c|c|}
\hline
AAA & BBB & CCC \\
\hline
ddd & eee & fff \\
\hline
\end{tabular}
```

排印结果为:

AAA	BBB	CCC
ddd	eee	fff

3.11.3 表格线宽命令 `\arrayrulewidth`

此命令调节 `tabular` 环境中表格的垂直线与水平线的宽度, 格式同上。例如, 输入如下:

```
\tabcolsep0.5in
\arrayrulewidth1pt
\begin{tabular}{|c|c|c|}
\hline
AAA & BBB & CCC \\
\hline
ddd & eee & fff \\
\hline
\end{tabular}
```

```
\end{tabular}
```

产生如下表格:

AAA	BBB	CCC
ddd	eee	fff

又如, 输入如下:

```
\tabcolsep0.5in
\arrayrulewidth2pt
\begin{tabular}{|c|c|c|}
\hline
AAA & BBB & CCC \\
\hline
ddd & eee & fff \\
\hline
\end{tabular}
```

产生如下表格:

AAA	BBB	CCC
ddd	eee	fff

与上例中的结果比较, 显然表格线变粗了。

3.11.4 线间距命令 \doublerulesep

此命令设置双线表中双线间的间距, 格式同上。例如:

```
\doublerulesep0.5pt
\begin{tabular}{||c|c|c||}
\hline\hline
AAA & BBB & CCC \\
\hline\hline
ddd & eee & fff \\
\hline\hline
\end{tabular}
```

```
\end{tabular}
```

排版结果为:

AAA	BBB	CCC
ddd	eee	fff

而

```
\doublerulesep2pt
\begin{tabular}{||c|c|c||}
\hline\hline
AAA & BBB & CCC \\
\hline
ddd & eee & fff \\
\hline\hline
\end{tabular}
```

排版结果为:

AAA	BBB	CCC
ddd	eee	fff

3.11.5 图表注释命令 \caption

此命令用于 table 和 figure 环境中, 产生图表的注释说明, 并自动编号。命令格式为:

```
\caption{注释内容}
```

例如:

```
\begin{table / figure}
\caption{This is an example of illustration of table/figure}
\end{table/figure}
```

排版结果为:

Table/Figure?.? This is an example of illustration of table/figure

其中, “?.?” 表示自动编号, 第一个 “?” 代表章号, 第二个 “?” 代表该图表的序号, 两者用点号连接。例子中 table/figure 表示取其中一个。

3.11.6 水平线命令 \hline

此命令用于 tabular 环境中, 产生表格的水平线。前面的例子中已多次使用了此命令, 此处不再举例。

3.11.7 线段命令 \cline

命令 \hline 产生的水平线的长度是由表格宽度决定的，总是从头画到尾，而 \cline 命令则可产生长度控制的水平线，起点和终点可以设置。该命令的格式为：

```
\cline{num1-num2}
```

其中，num1 和 num2 均为表格的列号，分别为所画线段的起始点和终止点。

例如，只要输入如下：

```
\begin{tabular}{|c|c|c|}
\hline
AAA    & BBB    & CCC \\
\cline{1-1}\cline{3-3}
ddd    & & fff \\
\cline{1-2}\cline{3-3}    % 等价于 \hline
ggg    & hhh    & iii \\
\hline
\end{tabular}
```

排版出如下的表格：

AAA	BBB	CCC
ddd		fff
ggg	hhh	iii

注意上面输入中只有第二行中使用 \cline 命令才是必要的，而第三行中完全可以使用 \hline 命令，这里为了显示 \cline 命令的用法，将一条整线分成了两段，并由 \cline 命令连续画出。

3.11.8 多列制表命令 \multicolumn

前面描述的制表命令只能排印列分布规则的表格，而对于列数分配不均的复杂表格就显得无能为力。多列制表命令 \multicolumn 正是为解决这一问题而提供的。如要生成表头列数与表内列数不同的表格，就要用到此命令。命令格式为：

```
\multicolumn{num}{定位方式}{表头内容}
```

其中，num 表示表头列包含的表内子列数；定位方式指表头内容对齐方式，包括左对

齐 (l), 居中 (c) 和右对齐 (r)。要生成下表:

Head 1		Head 2		
column 1 of line 2	column 2 of line 2	column 3 of line 2		column 4 of line 2
column 1 of line 3	column2 of line 3	column3 of line 3	column4 of line 3	column5 of line 3

则可应用此命令按如下输入:

```
\begin{tabular}{|c|c|c|c|c|}\hline
\multicolumn{2}{|c|}{Head1} & \multicolumn{3}{|c|}{Head2} \\\hline
column1 & column2 & \multicolumn{2}{|c|}{column 3 of line 2} & column 4\\
of line 2 & of line 2 & \muticolumn{2}{|c|}{}& of line 2 \\\hline
column 1 & column2 & column3 & column4 & column5 \\
of line 3 & of line 3 & of line 3 & of line 3 & of line 3 \\\hline
\end{tabular}
```

3.11.9 竖线命令 \vline

此命令也是为排印复杂表格而提供的, 利用此命令可以将 tabular 环境中定义的列方便地分为多列。利用此命令做复杂表格比用命令 \multicolumn 更方便、灵活。如要排印下面形式的表格:

Head1		Head 2		
col 11	col 12	col 13	col 14	
col 21	col 22	col 23	col 24	col25

则可利用此命令输入如下:

```
\begin{tabular}{|c|c|}\hline
Head1 & Head 2 \\\hline
col 11 \vline col 12 & col 13 \vline col 14 \\\hline
col 21 \vline col 22 & col 23 \vline col 24 \vline col 25 \\\hline
\end{tabular}
```

显然, 用 \multicolumn 命令排印上表是很困难的。

3.11.10 直线命令 `\line`

此命令用在 `picture` 环境中画直线, 命令格式为:

```
\put( $X_0$ ,  $Y_0$ ){\line( $X_s$ ,  $Y_s$ ){num}}
```

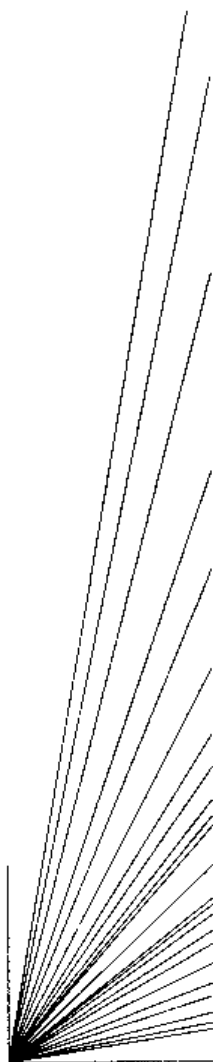
其中, (X_0, Y_0) 表示直线的起点, (X_s, Y_s) 表示画直线的方向步数, `num` 表示画的步数, 可以为非整数, 直线的终点坐标为 $(X_0 + X_s \times \text{num}, Y_0 + Y_s \times \text{num})$ 。 (X_0, Y_0) 和 `num` 的单位均为步。 X_s, Y_s 均是大于等于 -6 , 小于等于 $+6$ 的整数, X_s 和 Y_s 的比值表示所画直线的斜率。 X_0, Y_0 是以 `\unitlength` 为单位的值。图形环境建立一个宽度 \times 高度的盒子 (其中宽度 = $X_0 \times \text{\unitlength}$, 高度 = $Y_0 \times \text{\unitlength}$), 环境命令中的图形命令在这个盒子中起作用。

为绘制出在第一象限内能绘制的所有直线, 其输入如下:

```
\setlength{\unitlength}{0.1in}
\begin{picture}(60,12)
\put(10,1){\line(1,0){10}}
\put(10,1){\line(0,1){10}}
\put(10,1){\line(1,1){10}}
\put(10,1){\line(1,2){10}}
\put(10,1){\line(1,3){10}}
\put(10,1){\line(1,4){10}}
\put(10,1){\line(1,5){10}}
\put(10,1){\line(1,6){10}}
\put(10,1){\line(2,1){10}}
\put(10,1){\line(2,3){10}}
\put(10,1){\line(2,5){10}}
\put(10,1){\line(3,1){10}}
\put(10,1){\line(3,2){10}}
\put(10,1){\line(3,4){10}}
\put(10,1){\line(3,5){10}}
\put(10,1){\line(4,1){10}}
\put(10,1){\line(4,3){10}}
\put(10,1){\line(4,5){10}}
\put(10,1){\line(5,1){10}}
\put(10,1){\line(5,2){10}}
\put(10,1){\line(5,3){10}}
\put(10,1){\line(5,4){10}}
\put(10,1){\line(5,6){10}}
\put(10,1){\line(6,1){10}}
```

```
\put(10,1){\line(6,5){10}}
\end{picture}
```

排版结果如图:



X_0/Y_0 的数值为所绘制直线的斜率值, 因此图形环境能绘制直线的种类是有限的。直线命令有以下两点需要注意:

(1) 注意 X_0 和 Y_0 的取值范围, 并且要注意 X_0/Y_0 应该化为最简分式, 如 $\text{\line(6,2){10}}$ 应化为 $\text{\line(3,1){10}}$, 否则系统会出错误; 又如 \line(1.4,3) 、 \line(3,6) 、 \line(7,1) 都是错误的。

(2) LATEX 系统图形环境的直线是由一个特殊的字库构成的, 这个字库存放了各种有效斜率值的线段, 其长度 10pt 左右, 因此, 如果一条线段过短, 可能什么也印不出来。

3.11.11 圆命令 \circle

此命令用在 picture 环境中画圆, 命令格式为:

```
\put( $X_0$ ,  $Y_0$ ){\circle{diam}}
```

或

```
\put( $X_0$ ,  $Y_0$ ){\circle*{diam}}
```

其中,前者画空心圆,后者画实心圆。 (X_0, Y_0) 表示圆心, diam 表示圆的直径,它们的单位均为步,注意 diam 的值不能太大或太小, LATEX 系统能画圆的直径最大值大约为 40pt, 最小值为 15pt。例如:

```
\setlength{\unitlength}{0.1in}
\begin{picture}(50,10)
\put(30,19){\circle{10}}
\put(30,19){\circle*{4}}
\end{picture}
```



排版结果如右图所示。

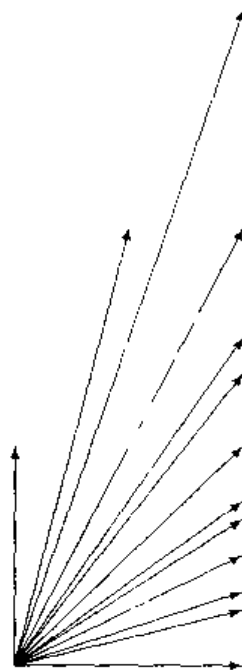
3.11.12 矢量命令 \vector

此命令用在 picture 环境中画一矢量, 矢量图形命令格式为:

```
\put( $X_0, Y_0$ ){\vector( $X_s, Y_s$ ){num}}
```

其中各参数的含义与 \line 命令完全一致。只是 X_s 和 Y_s 的取值范围为 -4 到 +4 之间的整数 (方向), 比 \line 命令取值范围小。 \vector 命令是从当前点 (X_0, Y_0) 出发, 方向为 (X_s, Y_s) , 画一条带箭头的线段。画第一象限中所有可能的矢量的输入格式为:

```
\setlength{\unitlength}{0.1in}
\begin{picture}(60,15)
\put(30,5){\vector(1,0){10}}
\put(30,5){\vector(0,1){10}}
\put(30,5){\vector(1,1){10}}
\put(30,5){\vector(1,2){10}}
\put(30,5){\vector(1,3){10}}
\put(30,5){\vector(1,4){5}}
\put(30,5){\vector(2,1){10}}
\put(30,5){\vector(2,3){10}}
\put(30,5){\vector(3,1){10}}
\put(30,5){\vector(3,2){10}}
\put(30,5){\vector(3,4){10}}
\put(30,5){\vector(4,1){10}}
\put(30,5){\vector(4,3){10}}
\end{picture}
```



排版结果如右图所示。

3.11.13 圆角矩形命令 `\oval`

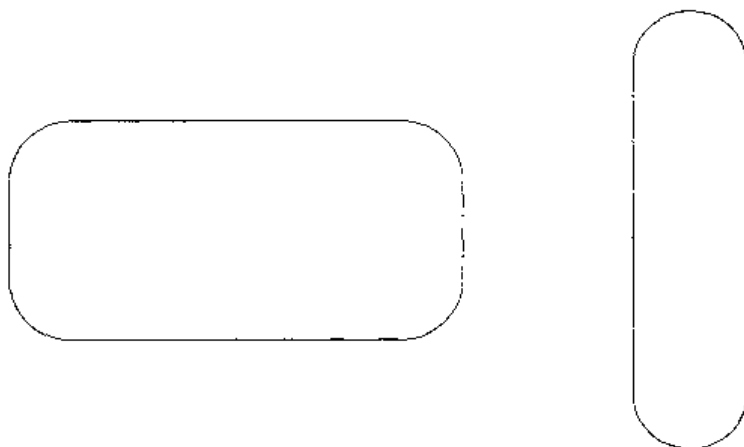
此命令用在 `picture` 环境中画一圆角矩形, 当长宽比较大时, 圆角矩形退化成跑道形, 即在矩形两头各加一半圆。命令格式为:

```
\put( $X_0$ ,  $Y_0$ ){\oval( $X_1$ ,  $Y_1$ )[位置]}
```

其中, (X_0, Y_0) 为中心坐标, (X_1, Y_1) 分别为 X , Y 方向宽度, 它们的单位均为步 (正整数), 若 [位置] 选项省略, `\oval` 命令产生一个圆角矩形。例如:

```
\setlength{\unitlength}{0.1in}
\begin{picture}(60,22)
\put(15,10){\oval(20,10)}
\put(35,10){\oval(5,20)}
\end{picture}
```

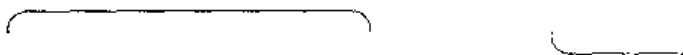
排版结果为:



[位置] 参数可取 `l`, `r`, `t`, `b` 四个值, 分别表示圆角矩形的一个部分。例如, 输入

```
\setlength{\unitlength}{0.1in}
\begin{picture}(20,5)
\put(15,2){\oval(6,2)[t]}
\put(37,2){\oval(12,2)[bl]}
\end{picture}
```

排印为:



3.11.14 步长设置命令 `\setlength`

此命令设置步长的实际尺寸，命令格式为：

`\setlength{\unitlength}{步长值}`

其中，步长值的单位为 LATEX 允许的所有单位，通过改变步长值可以缩放图形。此命令不必放在 `picture` 中。它的用法如上所述。

3.11.15 步长增量命令 `\addtolength`

此命令通过对原步长加大一定的倍量而达到改变步长的目的。该命令的格式为：

`\addtolength{\unitlength}{步长值}`

其中，当步长增量为正值时，步长增大，图形放大；当步长增量为负时，步长减小，图形缩小。例如，

`\addtolength{\unitlength}{-0.1in}`

原步长值减小 0.1in，图形将缩小，而

`\addtolength{\unitlength}{0.1in}`

原步长值增大 0.1in，图形将放大。

3.11.16 重复画图命令 `\multiput`

当要绘制多条平行线、多个平行矢量、多个同直径圆和多个同尺寸的圆角矩形时，除多次使用 `\put` 命令外，还可以用此命令。此命令的格式为：

`\multiput(X_0, Y_0)(X_{inc}, Y_{inc}){num}{上述具体的绘图命令格式}`

其中，(X_0, Y_0) 表示直线或矢量的起点、圆心或圆角矩形的中心坐标， X_{inc}, Y_{inc} 分别表示每次重复画时对 X_0, Y_0 的修正量，num 为重复绘制的次数。例如要产生如下图形：



则输入如下：

```
\setlength{\unitlength}{0.1in}
\begin{picture}(60,8)
\multiput(0,0)(5,0){5}{\vector(1,1){5}}
\multiput(26,2.5)(1.5,0){5}{\circle{3}}
```

```
\end{picture}
```

3.11.17 图标注命令 \makebox

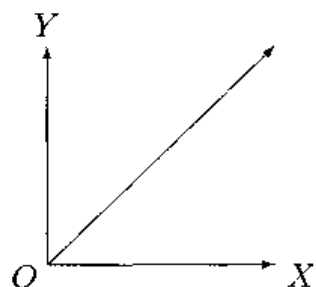
此命令为在图形内加标注提供方便, 它在图形区为标注文字开一个窗口, 标注文字就写在窗口内, 命令格式为:

```
\put(X,Y){\makebox(X1,Y1)[对齐方式]{标注文字}}
```

其中, (X,Y) 为窗口的左下角坐标, $X1$, $Y1$ 分别为窗口的 X , Y 方向长度 (可以为零), 它们的单位均为步。对齐方式指的是标注文字相对于窗框的位置 (选项), 水平方向可选参数为 l (左对齐)、r (右对齐), 垂直位置可取 t 和 b, 如果 [位置] 省略, 则系统默认为 c (居中)。例如:

```
\setlength{\unitlength}{0.1in}
\begin{picture}(50,15)
\put(10,1){\vector(1,0){10}}
\put(10,1){\vector(0,1){10}}
\put(10,1){\vector(1,1){10}}
\put(20.5,0){\makebox(2,1)[l]{X}}
\put(9,11.5){\makebox(2,1)[c]{Y}}
\put(8.4,0){\makebox(2,1)[l]{O}}
\end{picture}
```

它的排版结果为:



3.11.18 制框命令 \framebox

此命令在 picture 环境中绘制矩形框, 并可在框内写文字, 命令格式为:

```
\put(X,Y){\framebox(X1,Y1)[对齐方式]{内容}}
```

其中, X,Y 为矩形框的左下角坐标, $X1$, $Y1$ 分别为矩形的 X , Y 方向长度, 单位均为步数。对齐方式指后面的内容在矩形中是左对齐 (l)、右边齐 (r) 还是居中 (c)。若不需在矩形框内写内容, 则方括号项可略去, 内容项只保留空的花括号。

例如:

```
\setlength{\unitlength}{1in}
\begin{picture}(6.5,0)
\put(0,0){\framebox(4.5,0.2){}}
\end{picture}
```

排版结果是一个 4.5in 宽, 0.2in 长的矩形框。

产生上面矩形的另一种输入方法如下:

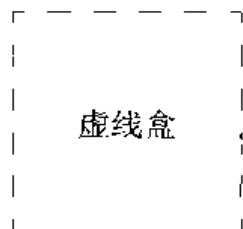
```
\setlength{\unitlength}{1in}
\begin{picture}(6.5,0)
\put(0,0){\framebox(4.5,0.2){}}
\end{picture}
```

注: `\dashbox` 命令可产生一个虚线边框矩形, 该命令格式与使用方法和 `\framebox` 完全一样。

例如, 输入

```
\setlength{\unitlength}{0.1in}
\begin{picture}(6.5,0)
\put(10,0){\dashbox(10,10){虚线盒}}
\end{picture}
```

排版结果为:



3.12 符号命令

3.12.1 宽帽命令 `\widehat{字符串}`

此命令在字符串头上产生帽子符号 $\hat{}$, 此符号的大小随字符串的长度自动调节, 命令格式为:

```
\widehat{字符串}
```

注意: 此命令必须在数学状态下应用。

3.12.2 宽波浪命令 `\widetilde`

此命令在字符串头上产生波浪符号 \sim ， \sim 符号的大小的长度自动调节，该命令格式为：

`\widetilde{字符串}`

注意：此命令也必须在数学状态下引用。

3.12.3 堆积命令 `\stackrel`

此命令将一个字符串堆在另一个字符串头上，命令格式为：

`\stackrel{string1}{string2}`

其中，`string1` 堆积在 `string2` 的头上。例如：

`$$ \stackrel{\longrightarrow}{\rightarrow} {arrow} $$`

排版结果为：

$$\stackrel{\longrightarrow}{\rightarrow} arrow$$

注意：此命令应用在数学状态中。

3.12.4 字符命令 `\symbol` 和 `\char`

这两个命令是用字符的八进制和十六进制码产生字符，命令格式为：

`\symbol{' 八进制码}` 或 `\symbol{" 十六进制码}`
`\char ' 八进制码` 或 `\char " 十六进制码`

利用这两个命令产生某些特殊符号很方便。

3.13 书信命令

如果文献形式为 `letter`，则可方便地进行西文书信写作，LATEX 为书信的写作提供了如下的专用命令。

3.13.1 地址命令 `\address`

此命令产生发信人的地址，格式为：

`\address{地址}`

当地址占多行时，用换行符 `\\` 强行换行，此命令自动将发信人地址放在右上角位置。例如要产生如下地址：

Department of Mathematics
Capital Normal University

Beijing, 100037

P.R.China

输入如下:

```
\address{ Department of Mathematics\\
Capital Normal University\\
Beijing,100037
P.R.China}
```

3.13.2 收信人地址命令 `\begin{letter}`

此命令用于排版收信人名, 地址, 并自动左对齐。命令格式为:

```
\begin{letter}
{人名 \\
地址 }
...信内容...
\end{letter}
```

例如:

```
\begin{letter}{Prof. G.L. Willias\\
Department of Mathematics\\
Univ. of Stanford}
...信内容...
\end{letter}
```

排版结果为:

Prof.G.L.Willias
Department of Mathematics
Univ. of Stanford

…信内容…

3.13.3 称呼命令 `\opening`

此命令产生称谓, 自动左对齐, 格式为:

`\opening{称谓}`

例如:

`\opening{Dear Prof. Thompson.}`

排版结果为:

Dear Prof. Thompson.

3.13.4 结束命令 `\closing`

此命令结束信内容, 格式为:

`\closing{}` 或 `\closing{谦称}`

其中, 谦称指 “Respectfully yours”, “Sincerely yours” 等内容。它位于信内容后中偏右的位置。

3.13.5 签名命令 `\signature`

此命令产生发信人的签名, 格式为:

`\signature{人名 \\ 头衔}`

它位于谦称的后面, 中偏右的位置。

3.13.6 附件命令 `\cc`

发信人可能还要随信附一些材料, 在信后要告诉对方包括什么材料, 则可用此命令书写。格式为:

`\cc{所附材料}`

此内容排在签名之后。

3.13.7 补充内容命令 `\ps`

当写信人结束以后, 发现忘了某些事未讲或想起了新的内容要讲, 而又不想修改已写好

的信, 可以利用此命令在信后书写补充的内容, 命令格式为:

```
\ps{P.S.\\} 补充内容
```

此内容排在附件之后。

3.13.8 标签命令 \makelabels

此命令产生邮寄标签, 包括收信人姓名、地址, 可直接贴于信封上, 此命令应放在序言区。产生的邮寄标签单独占一页。

一封完整信件输入格式如下:

```
\documentstyle{letter}
\makelabels
\signature{发信人名 \\ 头衔 }
\address{发信人地址 }
\begin{letter} {收信人名 \\ 地址 }
\opening{称呼收信人 }
...内容...
\closing{谦称 }
\cc{附加材料 }
\ps{P.S. \} 补充内容
\end{letter}
\end{document}
```

命令 \ps 和 \cc 也可以放在 \end{letter} 之后, 这样的排版结果是附加材料和补充内容单独占一页。而上面的排版结果是 \ps 和 \cc 内容接在签名后排印。注意要记住 \end{letter} 命令必须与 \begin{letter} 命令配对。其中 \makelabels, \ps, \cc 命令均是可选的。

3.14 打印控制命令

3.14.1 水平偏置命令 \hoffset

此命令设置版面左边界与打印标尺刻度的对应关系, 即设置打印机偏置, 命令格式为:

```
\hoffset size
```

当在序言区设置了 \oddsidemargin Opt 和 \evensidemargin Opt 之后, size=0in 对应于正文左边界与标尺上刻度 10 对齐, size=1in 则正文左边界相对于刻度 10 右移 1in, size=-1cm 则对应于正文左边界相对于刻度 10 左移 1cm。所以, 利用此命令可以方便地控制打印输出位置。

3.14.2 垂直偏置命令 `\voffset`

此命令控制打印机的空进距离, 命令格式为:

```
\voffset size
```

如果在文件的序言区设置了 `\topskip 0pt`, 打印 LATEX 排版结果时, 每页开始打印机要空进 1in。若想减少空进距离, 可设置 size 为某一负值, 如 size 为 `-1cm`, 则打印机少空进 1cm; 若需要多空进一些距离, 可设置 size 为某一正值, 如 `size = 1in`, 则打印机将多空进 1in。

3.15 其他命令

3.15.1 复制命令 `\verb`

此命令与 `verb` 环境的功能相同, 按原格式复制单行内容, 格式为:

```
\verb| ...内容... |
```

例如:

```
{\bf \Large This is emphasized}
```

排版结果为:

This is emphasized

而

```
\verb|{\bf \Large This is emphasized}|
```

排版结果为:

```
{\bf \Large This is emphasized}
```

即复制 `\verb` 命令后的内容。

3.15.2 新页命令 `\newpage` 和 `\eject`

命令 `\newpage` 和 `\eject` 都能强行换页, 使它们之后的内容开始排在新的一页上。但是这两个命令的功能是有区别的。用 `\eject` 强行换页分页时, 会自动调节新页前面内容的行距, 使得新页前面的页的内容是满页的; 而用命令 `\newpage` 强行换页分页时, 则不会自动调节新页前页的行距, 新页的前页可能是不满页。这两个命令没有参数。值得注意的是对于双列版式, 命令 `\newpage` 并不是开始一个新页, 而是开始一个新列, 即从左列跳到右列的第一行, 或从右列跳到下一页的左列第一行。

3.15.3 水平空距命令 `\hspace` 和 `\hskip`

此命令设置行内空间距一次有效, 命令格式为:

`\hspace{空间距值}` 和 `\hskip 空间距值`或 `\hspace*{空间距值}`

其中带有 * 号的命令不会因为在行尾和页尾而发生移动, 即它一定是在当前行或当前页起作用, `\hspace` 和 `\hspace*` 的距离值的单位为 cm 或 mm; `\hskip` 的空间距值的单位可为 in, cm 或 mm。

例如,

A one-inch wide horizontal space `\hspace{1cm}` 或 `\hskip 1in` is reserved here.

排版结果为:

A one-inch wide horizontal space 或 is reserved here.

注意: 没有 * 号的命令必须用在行内, 即它的前后都必须有文字; 在行首时, 必须是新起的段落。

3.15.4 垂直空间距命令 `\vspace` 和 `\vskip`

当要在文中为图留一定高度的空版面时, 可利用此命令。命令格式为:

`\vspace{垂直空间距值}` 和 `\vskip 垂直空间距值`或 `\vspace*{垂直空间距值}`

其中带有 * 号的命令不会因为在行尾和页尾而发生移动, 即它一定是在当前行或当前页起作用, `\vspace` 和 `\vspace*` 的距离值的单位为 cm 或 mm; `\vskip` 的空间距离值的单位可为 in, cm 或 mm。

例如,

This is the first line. `\vspace{2cm}` (或 `\vskip 2cm`) This is the second line

它的排版结果为两行之间空 2cm。

注意: 没带有 * 号的命令必须用在新起的段落前。

3.15.5 行充满命令 `\hfill`

此命令使位于命令前的内容左边齐, 命令后的内容右边齐, 将剩余的空间留在行中, 命

令格式为:

左内容 `\hfill` 右内容

排版结果如下:

左内容 右内容

3.15.6 页充满命令 `\vfill`

此命令将位于它前面的内容推到页顶部排印, 而将位于其后的内容推到页底部排印, 将剩余的空版面全留在页中部, 格式为:

...顶部内容...

`\vfill`

...底部内容...

注意: 此命令必须用在新起一段的前面。

3.15.7 目录的点连线命令 `\dotfill`

在目录中, 往往要用点连线把章节的标题内容与页码连起来。该命令的格式为:

章节的标题内容 `\dotfill` 页码

例如, 输入

`\S3.15 \ \ 其他命令\dotfill(55)`

可排出

`\S$3.15 \ \ 其他命令 (55)`

3.15.8 条款命令 `\item`

此命令用于 `itemize`, `enumerate` 和 `description` 环境中, 引导要列举的条款。其用法见第 2 章中描述这三个环境的有关内容。

3.15.9 `\mbox` 命令

此命令的引用格式为:

`\mbox{‘字符串’}` 或 `\mbox{ }`

其中, 前者印出字符, 后者印出一个空格。注意后者在 `\hspace`, `\hskip`, `\hfill`, `\vspace`, `\vskip` 和 `\vfill` 等命令中的妙用。此命令产生的空格可作为这些命令中的内容。

例如:

```
\hspace{2cm}This is a sample line.
```

排版结果并不后退 2cm, 而

```
\mbox{}\hspace{2cm} This is a sample line.
```

它的排版结果却是退了 2cm。

3.15.10 \hbox 和 \vbox 命令

这两个命令分别用于产生一个水平方向盒子和一个垂直方向盒子。例如,

```
\hbox{一个水平盒子}
```

排版结果产生一个水平方向的盒子是由 6 个字组成 6 个盒子构成的一个大盒子, 这 6 个字不会断行: 一个水平盒子

又如

```
\vbox{\hbox{第一行}\hbox{第二行}}
```

第一行

即由两个水平盒子构成一个垂直盒子: 第二行

3.15.11 \raisebox 命令

\raisebox 命令可以用来改变盒子的垂直位置, 其格式为:

```
\raisebox{高度}{内容}
```

其中, 高度 (\ccht) 为正值时, 盒子上升; 高度 (\ccht) 为负值时, 盒子下降。如用 “\raisebox” 命令来 \raisebox{\ccht}{提升} 盒子或 \raisebox{-\ccht}{降低} 盒子的排版结果为:

用 “\raisebox” 命令来 ^{提升} 盒子或 _{降低} 盒子

本章描述了 LATEX 系统的常用基本命令, 并给出了一些简单的应用实例。要综合应用这些命令排版复杂的数学公式、表格等, 请参阅第 4 章的综合实例。对于一些不常用的特殊命令, 如参考文献的交叉引用, 排印书的目录、索引, 定义新的环境、命令和定理, 以及定义宏命令等, 请参阅第 6 章中的有关内容。附录中给出了综合应用 LATEX 命令和环境制作的两篇完整的实例。其他未讲述到的一些不常用命令可参阅 LATEX 软件中的扩展名为 .tex 的文件。

第 4 章 数学公式和表格的输入与排印版式

4.1 LATEX 软件排印数学公式的功能

如果你是刚刚开始使用 LATEX 软件排印数学公式，允许这可能就是你将遇到的最困难的问题。由于文献的输入版面格式通常是相对固定的，用户只要照 LATEX 软件的规定要求写入基本的命令和环境就能成功。但是数学公式的排印可就有差别了。LATEX 软件排印数学公式不同于排印普通文章的文字，它是采用数学意大利体而不是正常的字体排印。数学的意大利体有细微的差别，在数学状态下空格的规则是特殊的，常常是系统自行设计，上下标的大小等也是自动变化，无需读者控制。相反，如果强行给数学字符设置大小，系统在编译时会给以警告。数学状态有两种：一是与正文混合排印，另一种单独排印，这两种的排印略有不同，如求和号上下限的位置等。混合排印时用单美元符号 $\$ \cdots \$$ 将数学公式括起来，单独排印时用双美元符号 $\$ \$ \cdots \$ \$$ 或其他数学状态环境将公式括起来（请参考第 2 章）。LATEX 软件的数学公式排印功能有以下一些特点：

- (1) 不同的标号、不同高度的数学公式自动完成中心对齐。
- (2) 各种数学功能可以互相嵌套或自相嵌套，嵌套的各公式间的位置由系统自行设计。
- (3) 单独排行的数学公式的大小自动居中，超过文章宽度的公式要施行人工干预拆行，利用命令 `\begin{eqarray}{对齐选项} \cdots \end{eqarray}` 把公式的各部分作为矩阵元来处理。
- (4) 自动根据公式的大小配合不同大小的括号、绝对值线、根号、矩阵号、行列式号。
- (5) 自动根据公式的长度配置不同的分数线、下括号、上括号和帽子。

本章提供了近 100 个例子说明如何排印数学公式，包括函数、逻辑运算符、分式、根式、极限、微分、积分、求和、矢量、矩阵、行列式、统计公式、微分方程、量子算符等。所有的实例都采用对照方式以方便读者，其中的一些排印技巧读者只要认真阅读就能体会。为了使读者方便地利用 LATEX 来制作文章，本书在附录中给出了两个完整的输入文件和对应的输出方式。在实例中给出的是通常的标准格式，如果读者要变换版面，请参考第 2 章的内容。

4.2 数学公式的输入和排印例子

数学公式的输入格式和排印结果的例子见表 4.1。

表 4.1 数学公式的输入和排印实例

输入格式	排印结果
<code>\$\$a^2+b_i\$\$</code>	$a^2 + b_i$
<code>\$\$a_{j+1}b^{j+1}\$\$</code>	$a_{j+1}b^{j+1}$

(续表)

输入格式	排印结果
$\$X.i^j=i^jX\$$	$X_i^j - i^j X$
$\$A^{\wedge}\{a^b\}\$$	A^{a^b}
$\$a/b\$$	a/b
$\$\frac{a}{b}\$$	$\frac{a}{b}$
$\$\{a\over b\}\$$	$\frac{a}{b}$
$\$\{a\abovelt b\}\$$	$\frac{a}{b}$
$\$\sqrt{y}-\sqrt[5]{x}\$$	$\sqrt{y} = \sqrt[5]{x}$
$\$\log_{\mathrm{e}}y=\ln y\$$	$\log_e y = \ln y$
$\$\log_{10}y=\lg y\$$	$\log_{10} y = \lg y$
$\$e^{\{\log_{\mathrm{e}}z\}}=z\$$	$e^{\log_e z} = z$
$\$\mathrm{arctg}(\sqrt{\frac{x+y}{x-y}})\$$	$\mathrm{arctg}(\sqrt{\frac{x+y}{x-y}})$
$\$\lim\limits_{x\rightarrow 0}\frac{\sin(x)}{x}=1\$$	$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(x)}{x} = 1$
$\$a_1,\ldots,a_n\$$	a_1, \dots, a_n
$\$a_1+\cdots+a_n\$$	$a_1 + \cdots + a_n$
$\$\vdots\$$	\vdots
$\$\ddots\$$	\ddots
$\$\oint_L\{\mathrm{E}\}\cdot\mathrm{d}\{\mathrm{I}\}\$$	$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{I}$
$\$\mathrm{tg}x=\frac{\sin x}{\cos x}\$$	$\mathrm{tg} x = \frac{\sin x}{\cos x}$
$\$\sqrt[a]{xy}=\sqrt[a]{x}\sqrt[a]{y}\$$	$\sqrt[a]{xy} = \sqrt[a]{x} \sqrt[a]{y}$
$\$\sqrt[a]{\sqrt[b]{c}}=\sqrt[ab]{c}\$$	$\sqrt[a]{\sqrt[b]{c}} = \sqrt[ab]{c}$
$\$\sqrt[a]{\frac{x}{y}}=\frac{\sqrt[a]{x}}{\sqrt[a]{y}}\$$	$\sqrt[a]{\frac{x}{y}} = \frac{\sqrt[a]{x}}{\sqrt[a]{y}}$
$\$\frac{a}{\sqrt[n]{y}}=\frac{a}{y}\sqrt[n]{y^{n-1}}\$$	$\frac{a}{\sqrt[n]{y}} = \frac{a}{y} \sqrt[n]{y^{n-1}}$

(续表)

输入格式	排印结果
$\begin{aligned} &\backslash[\\ &\backslash\sqrt[8]{} \\ &\{x+\backslash\sqrt[6]{} \\ &\{ \\ &x+\backslash\sqrt[4]{} \\ &\{ \\ &x+\backslash\sqrt{x+b} \\ &\} \\ &\} \\ &\} \\ &\backslash] \end{aligned}$	$\sqrt[8]{x + \sqrt[6]{x + \sqrt[4]{x + \sqrt{x + b}}}}$
$\begin{aligned} &\backslash[\\ &\backslash\sqrt{} \\ &\{ \\ &\{x+a\}\over{x+b} \\ &\} \\ &=(x+a) \\ &\backslash\sqrt{} \\ &\{ \\ &\backslash\frac{1}{(x+a)(x+b)} \\ &\} \\ &\backslash] \end{aligned}$	$\sqrt{\frac{x+a}{x-b}} = (x+a)\sqrt{\frac{1}{(x+a)(x+b)}}$
$\\$\\bigcap\\limits_{i=1}^{m+1}\\$$	$\bigcap_{i=1}^{m+1}$
$\\$\\bigcup\\limits_{j=1}^{n+1}\\$$	$\bigcup_{j=1}^{n+1}$
$\begin{aligned} &\\$\\sum\\limits_{j=0}^{i=n,j<i}= \\ &\backslash\sum\\limits_{i=0}^{j=n,i<j}\\$ \end{aligned}$	$\sum_{j=0}^{j=n,j<i} - \sum_{i=0}^{i=n,i<j}$
$\begin{aligned} &\\$\\int\\limits_0^{+\infty}f(x)dx= \\ &\backslash\int_0^{+\infty}f(x)dx\\$ \end{aligned}$	$\int_0^{+\infty} f(x)dx = \int_0^{+\infty} f(x)dx$
$\begin{aligned} &\\$\\prod_{j=n}A_j \\ &=\backslash\prod\\limits_j^{i=n}A_i\\$ \end{aligned}$	$\prod_j^{j=n} A_j = \prod_i^{i=n} A_i$

(续表)

输入格式	排印结果
$\backslash]$ $\backslash\text{sum}\backslash\text{limits}\{n=0\}^{\{+\infty\}}$ $\backslash\text{sqrt}[n]{\{\frac{n}{n+2}\}}$ $\backslash]$	$\sum_{n=0}^{+\infty} \sqrt[n]{\frac{n}{n+2}}$
$\backslash[\{ \{x+y\} \backslash\text{over} \{x-y\} \}$ $\backslash\text{over}$ $\{A+\{\{A+B\}$ $\backslash\text{over}\{A-B\}\} \}$	$\frac{\frac{x+y}{x-y}}{A + \frac{A+B}{A-B}}$
$\\$\\frac{\{\frac{x+y}{x-y}\}\{x-y\}}$ $\{A+\backslash\text{frac}\{A+B\}$ $\{A-B\}\} \\$$	$\frac{\frac{x+y}{x-y}}{A + \frac{A+B}{A-B}}$
$\\$\\{ \backslash\text{strut}\{x+y\}$ $\backslash\text{over}$ $\backslash\text{displaystyle}\{x-y\}$ $\} \backslash\text{over}$ $\{A+\{\{A+B\}$ $\backslash\text{over}\backslash\text{displaystyle}\{A-B\}\} \}$ $\\$$	$\frac{\frac{x-y}{x-y}}{A + \frac{A+B}{A-B}}$
$\\$\\{ \backslash\text{displaystyle}\{x+y\}$ $\backslash\text{above2pt}$ $\backslash\text{strut}\{x-y\}$ $\backslash\text{over}$ $\{A+\{\backslash\text{displaystyle}\{A-B\}$ $\backslash\text{over}\backslash\text{strut}\{A-B\}\} \}$ $\\$$	$\frac{\frac{x+y}{x-y}}{A + \frac{A+B}{A-B}}$

(续表)

输入格式	排印结果
$\backslash[$ $(\{u\over v\})^{\backslash\prime}$ $=$ \backslashfrac $\{u^{\backslash\prime}v+v^{\backslash\prime}u\}$ $\{v^2\}$ $\backslash[$	$\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - v'u}{v^2}$
$\backslash[$ $(\backslashsin x)^{\backslash\prime}$ $=$ $\backslashcos x$ $\backslash[$	$(\sin x)' = \cos x$
$\backslash[$ $(\backslashcos x)^{\backslash\prime}$ $=$ $\backslash-\sin x$ $\backslash[$	$(\cos x)' = -\sin x$
$\backslash[$ $(f(g(x^2)))^{\backslash\prime}$ $=2xf\backslash\prime$ $g\backslash\prime$ $\backslash[$	$(f(g(x^2)))' = 2xf'g'$
$\backslash[$ $\backslashfrac{d^ny}{dx^n}$ $=y^{\{n\}}(x)$ $\backslash[$	$\frac{d^ny}{dx^n} = y^{(n)}(x)$
$\$$ $\backslashsup\limits_{\{x\in\Omega\}}$ $\backslashfrac{b(x,y)}{\{y\}}$ \backslashlc M $\$$	$\sup_{x \in \Omega} \frac{b(x,y)}{ y } \leq M$
$\$ \backslashln(x)=\backslashrm log_ex \$$	$\ln(x) = \log_e x$
$\$ \backslashexp(x)=e^x \$$	$\exp(x) = e^x$

(续表)

输入格式	排印结果
$ \begin{aligned} &\inf_{y \in \Omega} \frac{b(x,y)}{ x } \geq m. \\ &\geq \\ &m \end{aligned} $	
$ \begin{aligned} &F(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x < 0, \\ 0, & \text{if } x = 0, \\ -1, & \text{if } x > 0. \end{cases} \\ &\end{aligned} $	
$ \begin{aligned} &\rho_{\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}'_1} = \langle \Psi_{PPZ}(\mathbf{r}^N) e^{-\beta H} \Psi_{PPZ}(\mathbf{r}'^N) \rangle \\ &= \langle \Psi_{PPZ}(\mathbf{r}^N) e^{-\beta H} \Psi_{PPZ}(\mathbf{r}'^N) \rangle \\ &> \end{aligned} $	
$ \begin{aligned} &\left(\frac{dw}{dt} \right)_{\epsilon+w} = \left. \frac{e^2 \omega E_0^2}{\pi m_e k^2} \frac{dF_0}{dv} \right _{v=\omega/k} \\ &\frac{dF_0}{dv} \Big _{v=\omega/k} \end{aligned} $	

(续表)

输入格式	排印结果
$\backslash \left.$ $\backslash \begin{array}{l}$ $f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}$ $\backslash \int \backslash \limits_{-\infty}^{+\infty}$ $C(\omega) e^{i\omega t} d\omega$ $C(\omega) \equiv$ $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$ $\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-i\omega t} dt$ $\backslash \right. \backslash \omega$ $= 2\pi f$ \backslash	$\left. \begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} C(\omega) e^{i\omega t} d\omega \\ C(\omega) &\equiv \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-i\omega t} dt \end{aligned} \right\} \omega = 2\pi f$
$\nabla \times (\Phi \mathbf{F}) =$ $\Phi \nabla \times \mathbf{F} + (\nabla \Phi) \times \mathbf{F}$	$\nabla \times (\Phi \mathbf{F}) = \Phi \nabla \times \mathbf{F} + (\nabla \Phi) \times \mathbf{F}$
$\nabla \times (\mathbf{F} \times \mathbf{G}) =$ $(\mathbf{G} \cdot \nabla) \mathbf{F} - (\mathbf{F} \cdot \nabla) \mathbf{G}$ $+ \mathbf{F}(\nabla \cdot \mathbf{G}) - \mathbf{G}(\nabla \cdot \mathbf{F})$	$\nabla \times (\mathbf{F} \times \mathbf{G}) = (\mathbf{G} \cdot \nabla) \mathbf{F} - (\mathbf{F} \cdot \nabla) \mathbf{G} + \mathbf{F}(\nabla \cdot \mathbf{G}) - \mathbf{G}(\nabla \cdot \mathbf{F})$
$\nabla \equiv$ $i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$	$\nabla \equiv i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$

(续表)

输入格式	排印结果
$ \begin{array}{l} \$\$ \\ \backslash\text{begin}\{\text{array}\}\{\text{rcl}\} \\ \backslash\text{nabla}\backslash\text{times}\backslash\text{vec}\{F\}(x,y,z) \\ \&\backslash\text{equiv} \& i(\backslash\text{frac}\{\backslash\text{partial} \\ F_x\}\{\backslash\text{partial} y\}-\backslash\text{frac}\{\backslash\text{partial} \\ F_y\}\{\backslash\text{partial} z\})\backslash\backslash \\ \&\&+j(\backslash\text{frac}\{\backslash\text{partial} \\ F_x\}\{\backslash\text{partial} z\}-\backslash\text{frac}\{\backslash\text{partial} \\ F_z\}\{\backslash\text{partial} x\})\backslash\backslash \\ \&\&+k(\backslash\text{frac}\{\backslash\text{partial} \backslash\backslash \\ F_y\}\{\backslash\text{partial} x\}-\backslash\text{frac}\{\backslash\text{partial} \\ F_x\}\{\backslash\text{partial} y\})\backslash\backslash \\ \\ \& \backslash\text{equiv}\& \\ \\ \backslash\text{left} \backslash\text{begin}\{\text{array}\}\{\text{ccc}\} \\ i \backslash\backslash\backslash \& \backslash\backslash\backslash \backslash\text{frac}\{\backslash\text{partial}\}\{\backslash\text{partial} x\} \\ \& \backslash\backslash\backslash F_x\backslash\backslash \\ j \backslash\backslash\backslash \& \backslash\backslash\backslash \backslash\text{frac}\{\backslash\text{partial}\}\{\backslash\text{partial} y\} \\ \& \backslash\backslash\backslash F_y\backslash\backslash \\ k \backslash\backslash\backslash \& \backslash\backslash\backslash \backslash\text{frac}\{\backslash\text{partial}\}\{\backslash\text{partial} z\} \\ \& F_z \\ \backslash\text{end}\{\text{array}\} \\ \backslash\text{right} \\ \backslash\text{end}\{\text{array}\} \\ \$\$ \end{array} $	$ \begin{aligned} \nabla \times \vec{F}(x,y,z) &\equiv i\left(\frac{\partial F_x}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z}\right) \\ &\quad + j\left(\frac{\partial F_x}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial x}\right) \\ &\quad + k\left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y}\right) \\ &= \begin{vmatrix} i & \frac{\partial}{\partial x} & F_x \\ j & \frac{\partial}{\partial y} & F_y \\ k & \frac{\partial}{\partial z} & F_z \end{vmatrix} \end{aligned} $
$ \begin{array}{l} \backslash\backslash \\ \backslash\text{nabla} r = \{\{\backslash\text{bf} r\}\over r\} \\ \backslash\backslash \end{array} $	$\nabla r = \frac{\mathbf{r}}{r}$
$ \begin{array}{l} \backslash \\ \backslash\Delta u = \backslash\text{div}(\backslash(u)) \\ \backslash\backslash \end{array} $	$\Delta u = \text{div}(\nabla u)$

(续表)

输入格式	排印结果
$\begin{aligned} &\backslash nabla^2 \\ &\backslash left(\{1\over r\} \backslash right) \\ &=-4\backslash pi\backslash delta(\{\backslash bf r\}) \\ &\backslash \end{aligned}$	$\nabla^2 \left(\frac{1}{r} \right) = -4\pi\delta(\mathbf{r})$
$\begin{aligned} &\backslash [\\ &\backslash int_V \backslash nabla \times \{\backslash bf E\} dv \\ &=\backslash int \backslash int_S d\{\backslash bf S\} \times \{\backslash bf E\} \\ &\backslash \end{aligned}$	$\int_V \nabla \times \mathbf{E} dv = \int \int_S d\mathbf{S} \times \mathbf{E}$
$\begin{aligned} &\backslash [\\ &\backslash int_S (\Delta f \times \nabla g) \cdot d\{\backslash bf S\} \\ &=\backslash oint_C f dg \\ &\backslash \end{aligned}$	$\int_S (\Delta f \times \nabla g) \cdot d\mathbf{S} = \oint_C f dg$
$\begin{aligned} &\backslash [\\ &\backslash nabla^2 A = \\ &\backslash frac{d^2 A}{dx^2} + \\ &\backslash frac{d^2 A}{dy^2} + \\ &\backslash frac{d^2 A}{dz^2} \\ &\backslash \end{aligned}$	$\nabla^2 A = \frac{d^2 A}{dx^2} + \frac{d^2 A}{dy^2} + \frac{d^2 A}{dz^2}$
$\begin{aligned} &\backslash [\\ &\backslash frac{\{\partial n\}}{\{\partial t\}} \\ &+\backslash frac{\{\partial nu\}}{\{\partial x\}} = 0 \\ &\backslash \end{aligned}$	$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial nu}{\partial x} = 0$
$\begin{aligned} &\backslash [\\ &\backslash frac{\{\partial u\}}{\{\partial t\}} \\ &+ u \backslash frac{\{\partial u\}}{\{\partial x\}} = f \\ &\backslash \end{aligned}$	$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = f$
$\begin{aligned} &\backslash [\\ &u=\backslash sum \backslash limits_{i=1}^{\backslash infty} \\ &a_i \{\rm sech\}^i(\mu \backslash xi) \\ &\backslash \end{aligned}$	$u = \sum_{i=1}^{\infty} a_i \operatorname{sech}^i(\mu \xi)$

(续表)

输入格式	排印结果
$\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial^2 n}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial \lambda \partial t} = \omega$	
$F_k^{(2)}(a, b) = \sum_{i+j=k} i j^2 a_i b_j$	
$\int_a^b \frac{\sin \sqrt{t}}{\sqrt{t}} dt$	
$\underbrace{\int \cdots \int}_{n} \lim_{n \rightarrow \infty} f(x_1, \cdots, x_n) dx_1 \cdots dx_n$	
$\lim_{x \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{-at^2} - 1}{a} dt$	
$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 - a^2}} = \cosh^{-1} \frac{x}{a} = \ln x + \sqrt{x^2 + a^2} + C$	

(续表)

输入格式	排印结果
$\begin{aligned} & \backslash[\\ & \backslashfrac{\backslashpartial^n}{\backslashpartial\backslashlambda_{12}^n} \\ & E\{f(x_1, x_2)\} \\ & = E\{ \\ & \backslashfrac{\backslashpartial^{2n}f(x_1, x_2)}{\backslashpartial x_1^n \backslashpartial x_2^n} \} \\ & \backslash] \end{aligned}$	$\frac{\partial^n}{\partial \lambda_{12}^n} E\{f(x_1, x_2)\} = E\left\{-\frac{\partial^{2n} f(x_1, x_2)}{\partial x_1^n \partial x_2^n}\right\}$
$\begin{aligned} & \backslash[\\ & \backslashint\backslashfrac{dx}{x} \{xY^n\} - \\ & -\backslashfrac{1}{a^n} \\ & \backslashleft[\backslashln\{Y\over x\} \\ & -\backslashsum\limits_{k=1}^{n+1} \\ & \backslashleft(\backslashbegin{array}{c} \\ \\ n \backslash \\ k \\ \backslashend{array} \right) \\ & \backslashright) \\ & \backslashfrac{(-a)^k x^k}{kY^k} \\ & \backslashright] (n \backslashgeq 1) \\ & \backslash] \end{aligned}$	$\int \frac{dx}{xY^n} = \frac{-1}{a^n} \left[\ln \frac{Y}{x} - \sum_{k=1}^{n+1} \binom{n}{k} \frac{(-a)^k x^k}{kY^k} \right]$ <p style="text-align: center;">$(n \geq 1)$</p>
$\begin{aligned} & \backslash[\\ & J(t) = \\ & \backslashint\limits_{t+t^2}^{t+t^2+\cdots+t^n} \backslashfrac{1}{t+t^2} \\ & \backslashfrac{x}{\log x + e^x} \times \\ & \backslashtimes f(x)g(x) \backslashcos x \backslashsin x \\ & \backslash{rm sign}(x) dx \\ & \backslash] \end{aligned}$	$J(t) = \int_{t+t^2+\cdots+t^n}^{\frac{1}{t+t^2}} \frac{x}{\log x + e^x} \times f(x)g(x) \cos x \sin x \operatorname{sign}(x) dx$
$\begin{aligned} & \backslash[\\ & 1 + \backslashsqrt[a]{\backslashfrac{x^2+y^2}{x+y}} \\ & \backslash] \end{aligned}$	$1 + \sqrt[a]{\frac{x^2 + y^2}{x + y}}$

(续表)

输入格式	排印结果
<pre>\[\sigma=\left(\begin{array}{ccc} \sigma_{11}&\sigma_{12}&\sigma_{13}\\ \sigma_{21}&\sigma_{22}&\sigma_{23}\\ \sigma_{31}&\sigma_{32}&\sigma_{33} \end{array} \right) \]</pre>	$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix}$
<pre>\[\left(\begin{array}{cccc} x_1&x_2&\cdots&x_n\\ x_2&x_3&\cdots&x_1\\ \vdots&\vdots&\ddots&\vdots\\ x_n&x_1&\cdots&x_{n-1} \end{array} \right)</pre>	$\begin{vmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ x_2 & x_3 & \cdots & x_1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n & x_1 & \cdots & x_{n-1} \end{vmatrix}$
<pre>\[\left(\begin{array}{c} \alpha \\ \mu \\ \varphi \\ \Upsilon \end{array} \right) \left(\begin{array}{cc} \beta \\ \pi \\ \chi \\ \Xi \end{array} \right)</pre>	$\left(\begin{array}{c} \alpha \\ \mu \\ \varphi \\ \Upsilon \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \beta \\ \pi \\ \chi \\ \Xi \end{array} \right)$

(续表)

输入格式	排印结果
$\backslash \int$ $\backslash \text{sum} \backslash \text{limits}_{-}\{n=0\}^m$ $\backslash \text{int} \backslash \text{limits}_0^{\{+\infty\}}$ $\backslash \Omega_1(t) \backslash \exp(-nt^2) dt$ $=\backslash \text{prod} \backslash \text{limits}_{-}\{n=0\}^m$ $\backslash \text{int} \backslash \text{limits}_0^{\{+\infty\}} \backslash \mu_n(t) dt$ $\backslash]$	$\sum_{n=0}^m \int_0^{+\infty} \Omega_1(t) \exp(-nt^2) dt = \prod_{n=0}^m \int_0^{+\infty} \mu_n(t) dt$
$\S\S$ $f(x)=\{\backslash \text{stackrel}\{m=n\}$ $\{\backslash \text{sum} \backslash \text{limits}_{-}\{i<j\}^m\}$ $a_ib_jc_nd_m-$ $\backslash \text{sum} \backslash \text{limits}^{\{i<j\}} \{$ $\backslash \text{stackrel}\{m=n\}\{m\} a_ib_jc_nd_m$ $\S\S$	$f(x) = \sum_{i<j}^{m=n} a_i b_j c_n d_m = \sum_{m=n}^{i<j} a_i b_j c_n d_m$
$\S\S$ $\backslash \text{sum} \backslash \text{limits}_{-}\alpha$ $S_{-}\{n\alpha\} S^{\star}_{-}\{m\alpha\}$ $-\backslash \text{sum} \backslash \text{limits}_{-}\alpha$ $S_{-}\{n\alpha\} (S^{\dagger})_{-}\{\alpha m\}$ $\S\S$	$\sum_{\alpha} S_{n\alpha} S_{m\alpha}^{\star} = \sum_{\alpha} S_{n\alpha} (S^{\dagger})_{\alpha m}$
$\S\S$ $\backslash \overline{\{(\Delta x)^2$ $(\Delta p_x)^2\}} \backslash \text{ge}$ $\backslash \text{frac}\{\hbar^2\}\{1\}$ $\S\S$	$\overline{(\Delta x)^2 (\Delta p_x)^2} \geq \frac{\hbar^2}{4}$
$\S\S$ $\backslash \widehat{\{\bf L\}}$ $=\backslash \widehat{\{\bf r\}}$ $\backslash \text{times} \backslash \widehat{\{\bf P\}}$ $=-i\hbar \backslash \{\bf r\} \backslash \text{times} \backslash \text{uabla}$ $\S\S$	$\hat{\mathbf{L}} = \hat{\mathbf{r}} \times \hat{\mathbf{P}} = -i\hbar \mathbf{r} \times \nabla$

(续表)

输入格式	排印结果
$L_n^{2l}(\rho) = \sum_{\nu=0}^{n-l} (-1)^\nu \frac{[(n-l)!]^2 \rho^\nu}{(n-l)!(l+\nu)! \nu!}$	$L_n^{2l}(\rho) = \sum_{\nu=0}^{n-l} (-1)^\nu \frac{[(n-l)!]^2 \rho^\nu}{(n-l)!(l+\nu)! \nu!}$
$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2\nu} \nabla^2 + U(\mathbf{r})$	$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2\nu} \nabla^2 + U(\mathbf{r})$
$\frac{\partial D_r}{\partial \omega_r} = -\frac{e^2}{\varepsilon_0 m_e k^3} P \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\frac{\partial f^0}{\partial r}}{z - \frac{\omega_r}{k}} dr$	$\frac{\partial D_r}{\partial \omega_r} = -\frac{e^2}{\varepsilon_0 m_e k^3} P \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\frac{\partial f^0}{\partial r}}{z - \frac{\omega_r}{k}} dr$
$\int_0^{+\infty} e^{-\xi} \eta(\xi) d\xi \approx \sum_{k=1}^n a_k \eta(\xi_k)$	$\int_0^{+\infty} e^{-\xi} \eta(\xi) d\xi \approx \sum_{k=1}^n a_k \eta(\xi_k)$
$\int_0^{+\infty} \left[\frac{4}{H_g} (e^{-xt} \cos(x) + \ln(x+a)) + \pi \sec^2(x) \right] dx$	$\int_0^{+\infty} \left[\frac{4}{H_g} (e^{-xt} \cos(x) + \ln(x+a)) + \pi \sec^2(x) \right] dx$

(续表)

输入格式	排印结果
$a_k = \frac{2^n n! \sqrt{\pi}}{[H'_n]^2}, \quad (n = 1, 2, \dots)$	$a_k = \frac{2^n n! \sqrt{\pi}}{[H'_n]^2}, \quad (n = 1, 2, \dots)$
$\overline{f(x)}_c = \frac{1}{n} V_{ar}\{x\} + \frac{2}{n^2} \sum_{i < k} \text{Cov}\{ix, kx\}$	$\overline{f(x)}_c = \frac{1}{n} V_{ar}\{x\} + \frac{2}{n^2} \sum_{i < k} \text{Cov}\{ix, kx\}$
$\Psi_{ppz}(\mathbf{r}^N) = C_N \prod_{i < j} \left[1 - \frac{c}{4} c(\xi_{ij}) c(\eta_{ij}) \right]$	$\Psi_{ppz}(\mathbf{r}^N) = C_N \prod_{i < j} \left[1 - \frac{c}{4} c(\xi_{ij}) c(\eta_{ij}) \right]$
$\sum_{p=1}^P (-1)^p \prod_{i=1}^N X_{l_{P_i}}(\xi_i) \overbrace{\left[\sum_{P} (-1)^P \prod_{i=1}^N Y_{k_{P_i}}(\eta_i) \right]}$	$\sum_p (-1)^P \prod_{i=1}^N X_{l_{P_i}}(\xi_i) \overbrace{\left[\sum_P (-1)^P \prod_{i=1}^N Y_{k_{P_i}}(\eta_i) \right]}$
$P_h: M \rightarrow M_h, \text{ i.e., } \forall v \in M, P_h v \in M_h$	$P_h: M \rightarrow M_h, \text{ i.e., } \forall v \in M, P_h v \in M_h$

[例 4-2] 输入:

```
\begin{equation}
\left\{\begin{array}{rl}
u_t+auu_x-\nu u_{xx}=0, & \hspace{0.5cm} (x,t)\in \Omega\times (0,t_1), \\
u(x,t)=0, & \hspace{0.5cm} (x,t)\in\partial\Omega\times (0,t_1). \\
u(x,0)=\varphi(x), & \hspace{0.5cm} x\in\Omega,
\end{array}\right.
\end{equation}
```

排印结果为:

$$\left\{\begin{array}{ll} u_t + auu_x - \nu u_{xx} = 0, & (x, t) \in \Omega \times (0, t_1), \\ u(x, t) = 0, & (x, t) \in \partial\Omega \times (0, t_1), \\ u(x, 0) = \varphi(x), & x \in \Omega. \end{array}\right. \quad (6)$$

[例 4-3] 输入:

```
\begin{equation}
\label{2.1}
\left\{\begin{array}{l}
-\nu \Delta u + \nabla p = f, \hspace{0.8cm} \\
& \hspace{0.1cm} \Omega \text{ 中}, \\
\operatorname{div} u = 0, \hspace{0.8cm} & \hspace{0.1cm} \Omega \text{ 中}, \\
& \hspace{0.1cm} \Omega \text{ 中}, \\
u = 0, \hspace{0.8cm} & \hspace{0.1cm} \partial\Omega \text{ 上},
\end{array}\right.
\end{equation}
```

排印结果为:

$$\left\{\begin{array}{ll} -\nu \Delta u + \nabla p = f, & \text{在 } \Omega \text{ 中}, \\ \operatorname{div} u = 0, & \text{在 } \Omega \text{ 中}, \\ u = 0, & \text{在 } \partial\Omega \text{ 上}. \end{array}\right. \quad (7)$$

[例 4-4] 输入:

```
\begin{equation}
\begin{array}{l}
(\operatorname{div} p_B, v_h) = \displaystyle (p_B, \nabla v_h) \\
= \displaystyle \sum \limits_{T \in \mathcal{T}_h} \nabla v_h|_{-T} \cdot T \int_{-T}^T dx \\
= \displaystyle \sum \limits_{T \in \mathcal{T}_h} \nabla v_h|_{-T} \\
\frac{42}{|T|} \int_{-T}^T (\nabla u_h - p_L) dx \frac{|T|}{60} \\
= \displaystyle \frac{7}{10} (p_L - \nabla u_h, \nabla v_h) \\
= \displaystyle \frac{7}{10} ((\operatorname{div} p_L, v_h)
\end{array}
\end{equation}
```



```

+ (\nabla u_h, \nabla v_h)], \ \forall v_h \in M_h.
\end{array}
\end{equation}

```

排印结果为:

$$\begin{aligned}
 (\operatorname{div} p_B, v_h) &= -(p_B, \nabla v_h) = - \sum_{T \in \mathfrak{S}_h} \nabla v_h|_T C_T \int_T b_T dx \\
 &= - \sum_{T \in \mathfrak{S}_h} \nabla v_h|_T \frac{42}{|T|} \int_T (\nabla u_h - p_L) dx \frac{|T|}{60} \\
 &= \frac{7}{10} (p_L - \nabla u_h, \nabla v_h) \\
 &= -\frac{7}{10} [(\operatorname{div} p_L, v_h) + (\nabla u_h, \nabla v_h)], \quad \forall v_h \in M_h.
 \end{aligned} \tag{8}$$

[例 4-5] 输入:

```

\begin{equation}
\inf\limits_{(u,p)\in V\times M}\sup\limits_{(v,q)\in V\times M}\frac{B(u,p;v,q)}{[|u|_1+||p||_0][|v|_1+||q||_0]}\geq\beta>0,
\end{equation}

```

排印结果为:

$$\inf_{(u,p)\in V\times M} \sup_{(v,q)\in V\times M} \frac{B(u,p;v,q)}{[|u|_1 + ||p||_0][|v|_1 + ||q||_0]} \geq \beta > 0. \tag{9}$$

[例 4-6] 输入:

```

\begin{equation}
b_T(x)=\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{T1}(x)\lambda_{T2}(x)\lambda_{T3}(x) \\ \lambda_{T1}(x)\lambda_{T2}(x)\lambda_{T3}(x) \end{array} \right. \\
\hspace{0.4cm} \& \{ \text{当 } x \in T \text{ 时} \} \\
\& \{ \text{当 } x \notin T \text{ 时} \}.
\end{equation}

```

排印结果为:

$$b_T(x) = \begin{cases} \lambda_{T1}(x)\lambda_{T2}(x)\lambda_{T3}(x) & , \text{ 当 } x \in T \text{ 时,} \\ 0 & , \text{ 当 } x \notin T \text{ 时.} \end{cases} \tag{10}$$

下面给出几个要求对齐而无编号的公式排印例子。

[例 4-7] 输入:

```

\begin{eqnarray*}
W&=&2\pi\int_0^\pi Q(\theta)\sin\theta d\theta
\end{eqnarray*}

```

```

&=&\{2\pi\over k^2\}\sum\limits_{l=0}^{\infty}
\sum\limits_{l'=0}^{\infty}(2l+1)(2l'+1)\backslash\backslash
&\&\times\left[\int_0^\pi P_l(\cos\theta)P_{l'}(\cos\theta)P_{l'}(\cos\theta)
\sin\theta d\theta\right]
e^{i\delta_l}e^{-i\delta_{l'}}\sin\delta_l\sin\delta_{l'}\backslash\backslash
&=&\{4\pi\over k^2\}\sum\limits_{l=0}^{\infty}
\sum\limits_{l'=0}^{\infty}(2l+1)(2l'+1)\{\delta_{ll'}\over(2l+1)\}
e^{i(\delta_l-\delta_{l'})}\sin\delta_l\sin\delta_{l'}\backslash\backslash
&=&\{4\pi\over k^2\}\sum\limits_{l=0}^{\infty}(2l+1)\sin^2\delta_l\backslash\backslash
&\equiv&\sum\limits_{l=0}^{\infty}W_l
\end{eqnarray*}

```

排印结果为:

$$\begin{aligned}
 W &= 2\pi \int_0^\pi Q(\theta) \sin \theta d\theta \\
 &= \frac{2\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{l'=0}^{\infty} (2l+1)(2l'+1) \\
 &\quad \times \left[\int_0^\pi P_l(\cos \theta) P_{l'}(\cos \theta) \sin \theta d\theta \right] e^{i\delta_l} e^{-i\delta_{l'}} \sin \delta_l \sin \delta_{l'} \\
 &= \frac{4\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{l'=0}^{\infty} (2l+1)(2l'+1) \frac{\delta_{ll'}}{2l+1} e^{i(\delta_l-\delta_{l'})} \sin \delta_l \sin \delta_{l'} \\
 &= \frac{4\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) \sin^2 \delta_l \\
 &\equiv \sum_{l=0}^{\infty} W_l
 \end{aligned}$$

[例 4-8] 输入:

```

\begin{eqnarray*}
\lefteqn{\hat{H}=-\sum\limits_{i=1}^N}
(\partial_{\xi_i}^2+\partial_{\eta_i}^2)\backslash\backslash
&\&+c\sum\limits_{i,j}^N\left[
\delta'(\xi_{ij})\epsilon(\eta_{ij})+\delta'(\eta_{ij})\epsilon(\xi_{ij})\right]
\end{eqnarray*}

```

排印结果为:

$$\begin{aligned}
 \hat{H} &= - \sum_{i=1}^N (\partial_{\xi_i}^2 + \partial_{\eta_i}^2) \\
 &\quad + c \sum_{i < j}^N \left[\delta'(\xi_{ij}) \epsilon(\eta_{ij}) + \delta'(\eta_{ij}) \epsilon(\xi_{ij}) \right]
 \end{aligned}$$

[例 4-9] 输入:

```
\begin{equarray*}
F(X,t)&\approx&\frac{\{\beta^n\}}{\{(\alpha-1)
\cdots(\alpha-n)\}}\int_t^{+\infty}f(x\mid
\hat{\mu}\hat{\sigma})dx\backslash
&=&\frac{\{\beta^n\}}{\{(\alpha-1)\cdots(\alpha-n)\}}
\cdots\left\{\bar{\Phi}\left(\frac{t-\hat{\mu}}{\hat{\sigma}}\right)\right\}
\left\{\bar{\Phi}\left(\frac{\mu t-\mu^2+n\sigma^2}{\sigma\sqrt{\mu^2-n\sigma^2}}\right)\right\}
\end{equarray*}
```

排印结果为:

$$\begin{aligned} F(X,t) &\approx \frac{\beta^n}{(\alpha-1)\cdots(\alpha-n)} \int_t^{+\infty} f(x \mid \hat{\mu}\hat{\sigma}) dx \\ &= \frac{\beta^n}{(\alpha-1)\cdots(\alpha-n)} \cdots \left\{ \bar{\Phi} \left(\frac{t-\hat{\mu}}{\hat{\sigma}} \right) \right\} \\ &= \frac{\mu^n}{\prod_{i=1}^n (\mu^2 - i\sigma^2)} \cdot \left[\bar{\Phi} \left\{ \frac{\mu t - \mu^2 + n\sigma^2}{\sigma\sqrt{\mu^2 - n\sigma^2}} \right\} \right] \end{aligned}$$

附注: 利用 `$$\begin{array}{对齐选项}...\end{array}$$` 方式也能使排多行的公式对齐, 但这种对齐不如例 4-7~4-9 的对齐方式。用这种方法对齐的公式第二行以后的求和号、积分号、分数中的式子等都会比正常的字符小。用例 4-7~4-9 的对齐方式排出的求和号、积分号、分数中的式子等都是正常的字符。

4.3 表格的输入和排印例子

本节给出一些表格的输入和排印例子。

[例 4-10] 输入:

```
\begin{center} {\HT 表 4.2 \ 界限字符 }
{
\zihao{6}
\begin{small}
\begin{tabular}{|c|cccccc|} \hline
\hline
\hbox{符号} & $\uparrow$ & $\Uparrow$
& $(\&\&)$ & $\$&\$&S$
\hbox{输入} & $\backslash$uparrow
& $\backslash$Uparrow & $(\&\&)$
\end{tabular}
\end{small}
\end{center}
```

```

& $\$ \& \$\$\\
\hline
\hbox{符号}& $\updownarrow$ & $\downarrow$ & $\{ \$ \& \$\}$
& $\lfloor$ & $\rfloor$\\
\hbox{输入}& $\backslash$updownarrow & $\backslash$downarrow &
$\backslash$ \{ & $\backslash$\\
& $\backslash$\lfloor & $\backslash$\rfloor \\
\hline
\hbox{符号}& $\Updownarrow$ & $\Downarrow$
& $\lceil$ & $\rceil$ & $/$ & $\$\\
\hbox{输入}& $\backslash$Updownarrow & $\backslash$Downarrow
& $\backslash$\lceil & $\backslash$\rceil
& $/$ & $\$\\
\hline
\hbox{符号}& $\backslash$ & $\angle$ & $\langle$
& $\|$ & & \\
\hbox{输入}& $\backslash$\backslash & $\backslash$\angle & $\backslash$\langle
& $\backslash$\$ & $\&$\\
\hline
\end{tabular} \end{small} } \end{center}

```

排印结果为:

表 4.2 界限字符

符号	↑	↕	()	[]
输入	\uparrow	\Uparrow	()	[]
符号	↕	↓	{ }	⌊ ⌋
输入	\updownarrow	\downarrow	\{ \}	\lfloor \rfloor
符号	↕	⇓	⌈ ⌋	/
输入	\Updownarrow	\Downarrow	\lceil \rceil	/
符号	\	⟩	⟨	
输入	\backslash	\rangle	\langle	\

[例 4-11] 输入:

```

\begin{center} {\hbox{\bf\heiti 表 4.3 显示卡分类表 } }
{
\zihao{6}
{\small
\begin{tabular}{|c|c|c|c|} \hline
{显示卡类型 } & \hspace{0.4cm} 分辨率 & \hspace{0.4cm} & \hspace{0.4cm}

```

```

显示方式 \hspace{0.4cm} & \hspace{0.4cm} 颜色数 \hspace{0.4cm} \\
\hline
MDA (单色文字显示卡) & 720$\times$350 & 字符 & 单色 \\
\hline
& 320$\times$200 & 字符 & 16 \\
CGA(彩色图形显示卡) & 320$\times$200 & 图形 & 4 \\
& 640$\times$200 & 图形 & 2 \\
\hline
& 640$\times$350 & 字符 & 16 \\
EGA(增强形图形显示卡) & 640$\times$200 & 图形 & 16 \\
& 640$\times$350 & 图形 & 2 \\
\hline
VGA(视频图形显示卡) & 320$\times$200 & 图形 & 256 \\
& 640$\times$480 & 图形 & 16 \\
\hline
& 1188$\times$480 & 字符 & 16 \\
TVGA(超级 VGA 显示卡) & 640$\times$400 & 图形 & 256 \\
& 1024$\times$768 & 图形 & 16 \\
& 1024$\times$768 & 图形 & 256 \\
\hline\end{tabular}
}
\end{center}

```

排印结果为:

表 4.3 显示卡分类表

显示卡类型	分辨率	显示方式	颜色数
MDA (单色文字显示卡)	720×350	字符	单色
CGA(彩色图形显示卡)	320×200	字符	16
	320×200	图形	4
	640×200	图形	2
EGA(增强形图形显示卡)	640×350	字符	16
	640×200	图形	16
	640×350	图形	2
VGA(视频图形显示卡)	320×200	图形	256
	640×480	图形	16
TVGA(超级 VGA 显示卡)	1188×480	字符	16
	640×400	图形	256
	1024×768	图形	16
	1024×768	图形	256

第 5 章 LATEX 运行环境

5.1 硬件环境

要使汉化的 LATEX 软件, 即 EMTEX 软件或 CTEX 软件工作, 计算机必须具备如下的硬件配置。

5.1.1 计算机

汉化的 LATEX 软件可在 IBM 系列计算机及其兼容机上工作, 要求计算机具有至少 32MB 内存。最好在奔腾 III 以上计算机使用, 因汉化的 LATEX 软件排版时要进行大量的运算, 速度是很重要的。要求计算机硬盘具有至少 64MB 空间, 才能装载汉化的 LATEX 软件 (即 EMTEX 软件或 CTEX) 系统。

5.1.2 显示卡

汉化的 LATEX 具有很好的模拟显示功能, 即排版结果可以在屏幕上显示。汉化的 LATEX 支持 Hercules 兼容显示卡、IBM CGA 显示卡、HP Vectra PC 显示卡、Corona PC-400 和 325 显示卡、Olivetti 显示卡、NCR PC 41 和 PC6 显示卡。

5.1.3 打印机

要将 EMTEX 系统或 CTEX2.0 系统的排版结果输出到纸上, 必须具备输出设备, 如针式打印机或激光打印机。EMTEX 和 CTEX 支持许多类型的针式打印机和激光打印机。针式打印机包括 NEC P 系列, Epson FX、LQ 系列和 Toshiba 兼容系列等; 激光打印机系列包括 Postscript, Hewlett-Packard, Cordata, QMS Lasergrafix 和 Kiss, Image Writer II, Smart Writer 等。

5.2 LATEX 软件系统

EMTEX 软件和 CTEX2.0 软件在国内的许多网站都可以找到。TeX 软件是该软件系统的主体, EMTEX 或 CTEX2.0 的生成及源文件的排版均由它完成。这些软件已经在网上公开给用户使用, 用户可以将其下载, 安装在自己的计算机上。许多科研单位和高校, 如首都师范大学数学系、中科院计算数学与科学工程计算研究所等, 都无偿为用户提供软件的复制版。

5.2.1 系统安装

(1) EMTEX 系统是直接下载并复制到计算机的 C 盘就可以直接使用,但是,为了使得你能在任意一个目录下都能调用该系统,应该在 C 盘的根目录的自动批处理文件“`AUTOEXEC.BAT`”的路径 PATH 中的其他路径后,加上“`C:\EMTEX;C:\EMTEX\bin`”路径。利用 MS-DOS 系统,在 C 盘根目录下使用“`edit autoexec.bat`”命令,就可以在 MS-DOS 下打开“`AUTOEXEC.BAT`”文件,加上上述路径后,存盘,退出,重新启动计算机,就可以在你自己的目录下调用 EMTEX 系统。可以把 EMTEX 中的“`CCTWIN32.EXE`”文件拖拽到桌面,建立打开该窗口的快捷方式,就可以实现一边在 DOS 下编译原文件,一边在该窗口上看到编译结果,该窗口也提供打印功能。

(2) CTEX2.0 系统,要先将该系统下载到计算机上,然后双击该系统的图标,就可以按照系统的说明逐步安装,安装完毕后,在计算机的桌面上就会出现“WinEdit”的图标,只要双击该图标,就启动 CTEX2.0 的“WinEdit”系统窗口,就可以直接在该窗口上输入并编译你的原文件。该窗口提供了中文和英文的 LATEX 文件的编译、显示、打印等功能按钮,直接单击就可以实现相关的操作。但是如果文档需要插图,除了安装 CTEX2.0 系统外,还要安装 EMTEX 系统,同时要在 C 盘的根目录中的自动批处理文件“`AUTOEXEC.BAT`”的路径 PATH 中的其他路径后,加上“`C:\EMTEX;C:\EMTEX\bin`”路径。

5.2.2 环境与系统配置

为了使用户自己编制的文件与系统分开,以保持系统的清洁,建议用户单独建立自己的工作子目录,将自编源文件放在自己的子目录中。为了能在自己的工作目录中调用 EMTEX 系统文件,只需在自动批处理文件 `AUTOEXEC.BAT` 中,设置如下的环境:

```
append=c:\EMTEX
path=c:\EMTEX
```

并再运行一次此文件。用户就可以在任何盘符和目录下编制和编译自己的 EMTEX 源文件。

LATEX 正常工作时需要同时打开较多的文件和占用较多的缓存器,所以需要如下的系统配置:

```
files=10
buffers=10
```

若 files 的值小于 10, LATEX 就显示出找不到某个文件的错误信息。上述配置应放在根目录下的 `config.sys` 文件中,并重新启动计算机,使配置参数生效。至此,汉化的 LATEX 系统已全部设置好,可以正常工作了。进入工作目录中,并输入如下的编译命令:

```
>latex sample.tex ↔(回车)
```

屏幕上就会显示出 LATEX 软件的有关信息,如版本号,系统何时生成的,以及读取有关文件的信息(这些信息的显示已经在第 1 章介绍过)。如果你的文件是中文文本,如 `smample.ctx`,

还须先执行下一命令:

```
>cct sample.ctx↵(回车)
```

这时, EMTEX 生成一个 LATEX 文件 sample.tex, 然后, 再执行前一命令。编译结束后, 生成 sample.dvi 文件。接着, 输入如下命令:

```
>view sample ↵(回车)
```

可以在屏幕上看到排版结果, 即可打印输出的结果形式。模拟显示为迅速发现问题提供了方便。通过多次修改、编译和显示, 就能获得最终所需要的排版形式。Sample.tex 文件是系统提供的一个标准文件, 它在 \EMTEX \texinput 子目录下, 如果系统工作正常, 编译此文件不应该出现错误; 反之, 表明系统处于非正常工作状态。这可能是由于未能严格执行上述的装载和参数设置步骤的结果。

如果你想将显示结果打印出来, 可输入下面的命令:

```
>dvi24p sample ↵(回车)
```

则可在 LQ 系列打印机上输出排版结果。如果你的打印机是激光打印机, 应输入下面的命令:

```
>dviljp sample ↵(回车)
```

最后应注意, LATEX 编译系统默认的源文件扩展名为 .tex, 因为你编制的源文件的扩展名是 .tex。另外, 上述的系统装载过程中产生的子目录名、编译、显示和打印命令等均是对 EMTEX 系统而言的, 对别的系统则不一定也是这样。激光打印驱动程序和字库, 具体系统的安装与使用, 应阅读系统提供的说明书和请教熟悉该系统的人员。关于汉化 LATEX 的使用, 第 1 章也已经介绍, 这里不重复了。

如果你使用的是 CTEX2.0 系统, 你就可以直接在 “WinEdit” 窗口上使用各种命令按钮来实现各种功能。

第 6 章 LATEX 使用的特殊技巧

6.1 宏命令

为了能高效地制作 LATEX 作品，定义宏命令是非常有必要的。事实上，LATEX 本身就是一个宏命令，该宏命令的定义使得在制作文献书籍方面的工作大为简化。要想成为一个高效率宏命令设计者十分容易，这正是 LATEX 程序能给你施展才华的天地的原因所在。所谓宏命令就是一些命令的集合，如果这样的原命令组合在文件中要反复经常使用，用宏命令就会显示它的优越性。宏命令的基本形式是：

```
\newcommand{}[ ]{ }
```

其中，第一个花括号是新的宏命令名，方括号中是形式参数的个数，后面的花括号是原命令的组合。举个例子来说，文章中经常出现混合偏导数，如下所示：

$$\frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2}$$

在文本文件中要输入下列命令：

```
$\frac
{\partial^3 u}
{\partial t
\partial x^2}$
```

如果定义了宏命令就可以简化命令，不必每次重复这些命令，只要定义：

```
\newcommand{\prdd}[3]
{
\frac{\partial^{#1}}
{\partial^{#2} \partial^{#3}}
}
```

这样在文本文件中只要输入：

```
 ${\prdd u {t}{x}}$
```

就能得到所要的偏导数了。宏命令中 [3] 表示宏命令中的形式参数的个数，最大值为 9。#1、#2、#3 代表不同的形式参数。

类似可以定义其他的宏命令, 注意使用宏命令时, 替换的变量须按顺序排好。再举一个例子, 如在书中经常要用到某个算子:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$$

可以定义宏命令:

```
\newcommand{\Lap}[1]
{
  (\farc{\partial^2}{\partial x^2}
  +\farc{\partial^2}{\partial y^2}
  +\farc{\partial^2}{\partial z^2})
  #1
}
```

在文件中只要输入 `\Lap{u}` 就得到:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)u$$

如输入 `$\Lap{}$` 则得到:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$$

当然也可以直接定义:

```
\newcommand{\Lap}
{
  \farc{\partial^2}{\partial x^2}
  +\farc{\partial^2}{\partial y^2}
  +\farc{\partial^2}{\partial z^2}
}
```

这样, 在要输入的地方打入 `\Lap`。如果在定义宏命令的时候有形式参数, 那么, 在用宏命令时就不能忽略这个形式参数, 至少要把形式参数的位置留下来, 输入一个空格 `{ }`。宏命令同样可以用来处理文字部分, 例如定义宏命令:

```
\newcommand{\CNU}
{
  \bf Capital Normal University
}
```

}

这样只要在原文件中直接写 `\CNU`，则排印出 **Capital Normal University**。同样对常用的命令可以缩写，以减少原文件输入的困难并且使源文件易于阅读。例如：

```
\newcommand{\bi}{\begin{itemize}}
\newcommand{\ei}{\end{itemize}}
```

这样可用 `\bi` 代替 `\begin{itemize}`，`\ei` 代替 `\end{itemize}` 作为环境命令。当然在文件中如频繁使用希腊字母，用宏命令也将提供方便。例如，定义宏命令：

```
\newcommand{\al}{\alpha}
\newcommand{\be}{\beta}
\newcommand{\ga}{\gamma}
```

只要输入 `\al`，`\be`，`\ga`，就能在文件中写出数学状态下的 α ， β ， γ 。

与 `\newcommand` 有关的另一个命令是 `\renewcommand`，这样就修改了原来的 `\newcommand` 命令。第一个花括号是要被修改的命令，第二个命令是修改后的命令，例如在你的文章中要用斜体代替黑体作为强调，则：

```
\renewcommand{\bf}{\it}
```

这样在文章中 `\bf` 命令都用 `\it` 命令代替了，读者可以比较一下 `\newcommand` 和 `\renewcommand` 的不同点，对已有的宏命令的修改要用：

```
\renewcommand{ }{ }
```

对还没有的宏命令定义要用：

```
\newcommand{ }{ }
```

宏命令的优点在数学公式越多的场合越能显现出来，当要做一篇包括大量公式的文章时，请首先定义一些宏命令，但切记宏命令的名字不要和系统中已有的宏命令相冲突。要想知道系统中是否有与你的宏命令相同的命令，请向系统询问。方法是：

简单运行 Tex，系统显示符号，输入如下命令：

```
\show{要检查的宏命令各} ←(回车)
```

如：

```
\show\baselineskip
>\baselineskip=\baselineskip
< * > \show\baselineskip?
?
```

这表示 `\baselineskip` 是系统的宏命令。

如果要检查 `\DWX` 是不是系统的宏命令, 同上。

* *

`\show \DWX` \leftrightarrow (回车)

`>\dwx=undefined`

`< * >\show \DWX`

?

表示 `DWX` 不是系统的宏命令, 在问号的提示符下, 可以检查另一个宏命令, 否则输入 `x`, 退出询问状态。

定义宏命令名可以选择自己易于记住的名字。宏命令使 LATEX 的源文件变得简明, 虽然一些熟悉普通西文软件的读者可能会使用块复制的命令来简化源文件的输入, 但是这种方法在数学公式非常多的情况下, 会使源文件变得难读。当有错误时, 更是难以寻找到错误所在的地方。而宏命令使得源文件变得简明, 易于维护和修改。作者鼓励读者自己定义宏命令, 这样会使你的编辑排版能力有较大的提高。本书不准备给出过多宏命令的例子, 原因是你不可能记住太多的宏命令, 而只有自己形成了一套定义风格, 才能得心应手地定义宏命令来排印文章。当然读者在本章中已看到作者定义的宏命令, 其目的是说明宏命令的定义方法。宏命令如果在整个文章中使用, 可放在文件的开始。如果只是临时用到该宏命令, 可以在源文件中临时建立和修改。

LATEX 系统不仅允许用户定义宏命令, 而且允许用户建立新的环境命令。建立新环境的命令的基本形式是:

`\newenvironment{ }{ }{ }`

其中, 第一个括号是定义后的环境名, 第二个和第三个括号是原先的两个环境命令, 新环境可以像宏命令一样有替换变量, 例如定义:

`\newenvironment{www}{\begin{document}}{\end{document}}`

则原先的两个命令可用下面命令代替:

`\begin{www}`

....

`\end{www}`

环境名的定义给读者提供了方便。再举一个例子说明用法:

`\newenvironment{www}{\begin{verse}\it}{\end{verse}}`

`\begin{center}Devotion\end{center}.`

`\begin{mypoeem}`

The heart can think of no devotion \ \

Greater than being shore to the ocean-\ \

Holding the curve of one position \ \

Counting an endless repetition.

`\end{mypocm}`

有兴趣的读者可输入这一段尝试一下。系统还提供了其他一些习惯的环境命令。数学家、逻辑学家经常会遇到定理、定义、引理等。为了表示这些条款，系统提供了环境命令 `\newtheorem`，举例如下。

在序文件中输入命令：

```
\newtheorem{mythname}{Theorem}
\begin{mythname}
If there is a line across a surface .....
\end{mythname}
```

输出为：

Theorem 1. If there is a line across a surface

如有第 2 条定理，则系统自动编号。

另外，`\newtheorem` 命令可以有数值变量。例如：

```
\newtheorem{myprop}{Proposition}[section]
\begin{myprop}
This is the second proposition in this section ...
\end{myprop}
```

假如在第二节输入这一段，则输出的结果如下：

Proposition 2.1 This is the second proposition in this section ...

编号也是系统自己排好的。

这一节主要介绍宏命令使用及一些习惯的环境命令的使用。这些对于帮助读者进一步使用好 LATEX 软件十分有意义。

附注：EMTEX 系统可以用 “`\def{ }{ }`” 代替 “`\newcommand{ }{ }`”（具体例子参见附录 1）。

6.2 文献和图表的引用

无论在写文章还是写书时，都会遇到对文献图表的引用，在写短文时对文献的引用只要采用简单的上标法就行。例如，... the work $\text{10}{\$}$ ，这样 “10” 在文章后的对应文献就被作为参考文献，然而当有大量的文件和图表要引用时，这种方法就显得不方便，因为你总是要记忆引用文献章节的编号。LATEX 提供了交叉引用的命令，使你在输入文件时不必记住要引用文献图表章节的具体编号，只要在引用处输入一个标识符，最后系统在编译时能自动编号。具体方法是在要引用的部分进行标记，标记方法分别如下：

(1) 在书籍中要对章节进行引用时, 首先对要引用的章进行标记, 例如:

```
\chapter{First Miss}\label{FM}
```

FM 是作者据自己的意愿给出的记号, 在文章中引用时可写成:

... what we talk about can be found in Chapter ~ \ref{FM} ...

文件最后编译时, 自动编排章的号码。

(2) 在对方程引用时, 被引用方程的标记方法如下:

```
\begin{equation}
\label{Fluideq}      % 标识的记号由自己定
\end{equation}
```

(3) 对图表的标识方法:

```
\begin{figure}
\label{FI}
\end{figure}
```

在文章中引用时可写:

The Eq.~\ref{Fluideq} indicates a result as shown in Fig.~\ref{FI} ...

这样系统最后编译时, 可以自动把方程和图表的号码编好。这种引用的好处是在引用时不必涉及被引用部分的序号, 因为方程和图表的序号是自动生成的, 在输入源文件时不必预先知道。当然不用这种方法也行, 只是麻烦且易出错而已。

(4) 对参数参考文献的引用, 标识的命令是 \cite{ }, 其中 { } 中的标记可自行定义, 可用人名、时间等, 引用的记号必须与参考文献中的一致, 要引用的部分用:

```
\begin{thebibliography}{99}  和  \end{thebibliography}
```

环境命令夹起来放在源文件的最后, 这对环境命令类似于列举命令 \enumerate, \itemize 命令 (参见第 2.4 节), 所不同的是每项的开始以 \bibitem 命令打头而不以 \item 打头。另外这对命令包括了一个打印宽度的变量, 宽度按最宽的项计算 (以多少个字符为单位)。变量一定要给, 否则会出错。

下面给出一个例子, 以说明用法。例如, 要得到以下的参考文献目录:

References

- [1] M.J. Feigenbaum, J. Stat. Phys. Vol. 19, 25 (1978)
- [2] Ding Weixing, et al Chin. Phys. Lett. Vol. 5, 493 (1988)
- [3] Donald E. Knuth. *The TeXbook*. Reading, Ma:

Addison-Wesley Publishing Co.

只要在输入的源文件的最后输入下列命令:

```
\begin{thebibliography}{99}
\bibitem{Feigen} M. J Feigenbaum. J.Stat. Phys. Vol.19, 25(1978)
\bibitem{Ding} Ding Weixing, etal Chin. Phys. Letts Vol.5, 493(1988)
\bibitem{knuth} Donald E.Knuth.{\it The Texbook}. Reasding, Ma: Addison -
Wesley Publishing Co.
\end{thebibliography}
```

请注意在有交叉引用时, 必须用 LATEX 编译两次才能产生编号, 系统第一次编译时产生一个辅助文件 (.aux) 用于存放交叉引用的信息, 有了辅助文件之后再编译一次就能产生正确的编号。初学者在第一次编译时, 可不理睬系统的警告提示, 再编译一次。

6.3 索引和词典的制作

在制作书籍的时候, 通常要做一个索引 (index), 做索引与第 6.2 节介绍的交叉引用相类似。首先在要被索引的地方做标记, 例如:

The Rolls Royce \index {Rolls Royce}is made in English.

为了方便起见, 可以在源文件中定义一个宏命令:

```
\newcommand{ \mi}[1]{\#1 \index{\#1}}
```

这样在要做标记的部分只要输入:

The \mi{Rolls Royce}is made in English

若在书中有四次标记分别在第 3, 14, 76, 105 页, 则在最后的索引为:

Rolls Royce, 3, 14, 76, 105

同一页的标记, 索引只出现一次。

如果要建立一个子索引, 则用惊叹号 (!) 来分开, 而交叉引用中是用竖线 (|) 来分开的, 例如, 在源文件中输入下列命令 (这里的页码是假设的, 实际操作时不必输入):

P.5: Rolls Royce \index{Rolls Royce! Popularity of}

P.13:\mi{sports cars}

P.44:\mi{sports cars}

P.50:\mi{Maserato}

P.50:sports cars \index{sports cars! Racing : See{Maserat}}

P.51:sports cars \index{sports cars! Racing! Corporate participation in}

P.77:Rolls Royce \index{Rolls Royce! Manufactuling techninques of}

则产生的索引为:

Mserato, 50

Rolls Royce, 5, 77

Manufacturing techniques of, 77 popularity of 5
sports cars, 13, 44, 50, 51 Racing, see Maserati, 50
Corporate participation in 51

利用 Makeindex 程序生成索引的方法如下:

首先, 在 `\documentstyle` 命令中键入索引的命令:

```
\documentstyle[lpt, makeidx]{book}
```

然后在上述命令的下一行输入:

```
\makeindex
```

再在 `\end{document}` 之前写两个命令:

```
\clearpage  
\printindex
```

这样用 LATEX 编译输入文件 `Myfile.tex` 后, 可产生一个 `Myfile.idx` 文件。然后执行:

```
>makeidx myfile.idx ←(回车)
```

产生一个 `myfile.ind` 文件, 索引的信息被存放在文件中, 然后再用 LATEX 编译 `Myfile.tex` 一次, 这样索引就在文件的最后生成, 详细的 Makeindex 使用方法可参考软件的附属文件 `Readme.doc`。

LATEX 软件没有专门的环境用来制作词典, 要使用的读者可阅读第 2.4 节中的 `\description` 环境命令。这里举个例子来说明用法, 在通常的文件中写入:

```
\section * {Glossary}  
\begin{description}  
  \item[Space.]Distance or gap between two points on a page.  
  \item[Printer Driver, ] Programme to convert a DVI file into a form capable of being  
printed on specific device.  
\end{description}
```

这就得到一个词典。如果要产生页眉就要再输入另外两条命令:

```
\pagestyle{myheadings}  
\markboth{Glossary}{Glossary}
```

在写书或较长的评论文章时, 如果要把词典放在目录里, 需要输入命令:

```
\addcontentsline{toc}{chapter}{Glossary}
```

这里再介绍一下书写时制作目录的命令, 在 `\documentstyle{book}` 的宏命令下输入命

令:

```
\newpage
\pagenumbering{roman}      % 目录页号用罗马字
\tableofcontents           % 目录 (包括所有章节)
\listoffigures             % 图的目录
\listoftables              % 表格的目录
```

书中所有章节的图表信息是系统自动记录的, 读者只要利用以上的命令, 系统就会自动制作出一个完整的目录。除了词典外, 索引和参考文献也要包括在目录里, 同样可利用命令:

```
\cleardoublepage
\printindex
\addcontentsline{toc}{chapter}{Index}
```

和

```
\bibliography{mybib}
\addcontentsline{toc}{chapter}{Bibliography}.
```

6.4 源文件模块化

通常, 对于输入一个短文件, 一般不需要将文件分块输入。但当文章较长 (如有数十页), 编译一次要花费较多的时间, 而且模拟显示和修改十分不便时, LATEX 提供了将源文件模块化的功能, 这样使用者可将大文件分成几个相对独立的单元, 并对每一部分单独调试, 最后用一个主文件合在一起。为了使各模块单独运行, 首先建立一个序文件 (preamble.Tex), 这个文件包括通常输入文件的最前面的几行 (参见第 1.1 节), 用来说明文件的格式定义、版式命令等。

举例如下:

```
\documentstyle[12pt]{article}
\topmargin 0in
\oddsidemargin 0pt \evensidemargin 0pt \textwidth 6.5in
\textheight 8in
\newcommand{\ a}{S \alph S}
.
.
.
\begin{document}
```

这个文件名取为 preamble.tex。

模式 1 的文件为 Model1.tex 可写成:

```
\input{preamble.tex} % 将文件调入
\tilde{}
```

```
\maketitle
\date{}
.
.
.
end{document}
```

同理模块 2 的文件 Model2.tex 可写成:

```
\input{preamble.tex} % 将文件调入
\begin{center}
.
\end{center}
\newpage
.
.
.
\end{document}
```

这样模块 1 和模块 2 两个文件可单独运行、编译和调试,全部调试成功后连接时,建立一个主源文件 Model1.tex,同时去掉每个模块中的 `\input{preamble.tex}` 和 `\end{document}` 两个命令。最简单的方法是在该命令前加注释符号 `%`。建立主文件 myfile.tex 如下:

```
\input{preamble.tex}
\input{Model1.tex}
\input{Model2.tex}
.
.
\input{ModelN.tex}
.
.
\end{document}
```

这时用 LATEX 编译 main.tex 就可将各个模块合并了。必须注意:在最后连接前一定要将每个模块的 `\input{preamble.tex}` 和 `\end{document}` 命令去掉,否则会出错。假如在每个模块中要定义新的命令,请将这些命令集放在序文件 preamble.tex 中,这样每次工作时只要在文件头上输入 `\input{preamble.tex}` 就行了。如果你自己定义了许多宏命令也不妨放在序文件中,这样就不必每次重新定义。

第 7 章 CCT 的图形、图像接口

CCT 系统,即汉化的 LATEX 允许用户直接将图形、图像插到排版的文本中,与文字部分一起输出,做到图文并茂,提高出版物的质量,简化排版过程。CCT 系统的图形图像处理功能主要基于设备驱动程序所提供的图像接口,这个接口允许用户将符合一定格式的图像文件(称为 BMF 文件)插入到版面的任意位置上。用户只需设法将自己的图形转换为 BMP 文件即可实现图文的同时输出。以此接口为基础,CCT 提供下列图形处理及转换程序:

(1) 绘图程序 PICTEX,可实现给用户提供一个简单的绘图指令用来绘制平面曲线图等的功能。

(2) 将 HP 绘图仪的绘图指令(也叫做 GL 语言)转换为 PICTEX 的图形文件(PDF 文件)的程序。用来实现与一些常用绘图软件的接口(如 AutoCAD, GS 等)。

(3) 将 TIFF 文件转换为 BMF 文件的程序,可用来处理通过数字化扫描仪输入的图像

本章第 7.1 节介绍驱动程序的图形接口的用法及 BMF 文件的结构。第 7.2 节介绍 PICTEX 的使用。第 7.3 节介绍如何从其他绘图软件的绘图仪的输出中获取图形数据。第 7.4 节介绍与数字化扫描的接口。最后在第 7.5 节给出 EMTEX 系统的 BMP 图形的插入方法,这是这种软件的特有插图方法。

7.1 CCT 驱动程序的图形接口

CCT 软件提供了一条特殊指令 `\special`,它以一个字符串作为参数,其使用格式如下:

```
\special{字符串 }
```

这条指令对排版的版面不会产生影响,而只将相应的指令码和参数中的字符串拷贝到 DVI 文件的相应位置上。CCT 系统利用这条指令来告诉驱动程序应该在当前位置上插入一个图形。指令格式如下:

```
\special{BMF= 文件名 }
```

其中的文件名是一个符合规定格式的黑白图像文件的文件名,称这种图像文件为“BMF 文件”。驱动程序在 DVI 文件中遇到这条指令时会自动将由相应的 BMF 文件所定义的图像加在版面的当前位置上。例如,假如用户 BMF 文件名为“MYPIC.BMF”,则只需在排版的源文件中加入指令:

```
\special{BMF=MYPIC.BMF}
```

即可将图像加到排版中。

由于 CCT 在排版时对 `\special` 指令不做任何处理, 因此用户在利用它插入图像时应根据图像的大小在周围留出能放下图像的足够空间。驱动程序在处理 BMF 文件时以图像的左下角为原点, 即图像的左下角正好处在 `\special` 指令的位置上。例如, 假设用户想给前面的例子中的图像留出 6cm 宽、8cm 高的空间, 则可采用下面的指令:

```
\vbox{\hsize 6truecm\vskip 8truecm
\relax\hbox to\hsize{\hbox to 0pt
{\special{BMF=mypic.bmf}}\hfill}}
```

当驱动程序在 DVI 文件中遇到指令 `\special{BMF=...}` 时, 如果找不到相应的 BMF 文件, 这条指令将被忽略并产生一个警告信息。

BMF 文件通常可由 CCT 配置的图形处理程序自动生成。这里给出 BMF 文件的结构以便用户能够将一些图形转换为 BMF 文件。

BMF 文件中给出的是黑白图像的点阵数据。文件的开始是 16 个字节的文件头, 此文件头依次给出:

- 横向分辨率 (4 字节整数, 高位在前, 低位在后, 以 $2^{-16} \times \text{DPI}$ 为单位)
- 纵向分辨率 (4 字节整数, 高位在前, 低位在后, 以 $2^{-16} \times \text{DPI}$ 为单位)
- 图像宽度 (双字节整数, 高位在前, 低位在后, 以点数为单位)
- 图像高度 (双字节整数, 高位在前, 低位在后, 以点数为单位)
- 横向位移量 (双字节整数, 高位在前, 低位在后, 以点数为单位)
- 纵向位移量 (双字节整数, 高位在前, 低位在后, 以点数为单位)

其中最后两个参数为带符号的整数, 取值范围为 $-32\,768 \sim 32\,767$ 。横向位移量表示应该将图像向左移动的点数, 纵向位移量表示应该将图像向上移动的点数, 紧跟在文件头的后面即是定义图像的点阵数据。图像中每行点从左到右每 8 个点分成一组 (最后不足 8 个点也作为一组), 每组点用一个字节表示, 字节中的每个位元代表一个点 (0=白点, 1=黑点)。8 个点中最左边的点对应字节中的最高位位元。将代表每行点的字节按从左到右的顺序排列, 并且按从上到下的顺序排出所有的行中的字节, 即可得到构成图像的点阵数据。这种排列方式与通常的图像数据的排列是一致的。假如图像的宽度为 n 个点、高度为 m 个点, 则每行数据的长度为 $(n+7)/8$ (取整), 整个数据长度为 $((n+7)/8) \times m$, 加上文件开头的 16 个字节, BMF 文件的总长度应该等于 $((n+7)/8) \times m + 16$ 。

4.1 版以后的 CCT 软件能支持压缩格式的 BMF 文件, 可以在不影响处理效率的前提下大大节省用户的磁盘空间, BMFPACK.EXE 将文件名加上扩展 “.BMF” 做为输入和输出文件名, 默认情况是将 BMF 压缩。如果使用选择项 “-U”, 则把压缩的 BMF 文件还原成非压缩格式。

7.2 绘图软件 PICTEX

PICTEX 是一个利用 CCT 的图形处理功能进行绘图的软件。它采用批处理的方式, 即用户通过一些特定的绘图指令来绘制图形。用户将绘图指令存在一个文本文件中 (称为

PICTEX 的数据文件)，然后利用 PICTEX 来产生一个 TEX 源文件（某些情况下可能还需产生一个 BMF 文件）。用户只需将产生的 TEX 源文件插入到排版的源文件中就可在排版结果中得到所绘图形。

PICTEX 包括可执行文件 PICTEX.EXE，PDFTOBBF.EXE 和 TEX 宏文件 INTFACE.STY。由于 PICTEX 的绘图功能主要基于 CCT 的绘图指令（即 CCT 中的 picture 环境），为使不使用 CCT 的用户也能使用本程序，我们将 CCT 的 picture 环境中的指令单独抽出来构成一个宏文件，这就是“INTFACE.STY”文件。因此，如果用户使用的不是 CCT 并且需要在排版中引用 PICTEX 绘制的图形时，必须在源文件的第一次引用之前加入下述指令：

```
\input intface.sty
```

INTFACE.STY 中定义了下列 10 条绘图指令：

```
\unitlength, \begin{picture}, \end{picture},
\thinlines, \thicklines,
\put, \line, \vector, \circle,
\oval
```

它们的用法及功能与 CCT picture 环境中的指令完全一样，请参看 CCT 的相关说明。用户也可以在 TEX 源文件中利用这些指令来直接绘制一些简单的图形。

考虑到 CCT 的造表指令功能完善，使用方便，我们也将这些指令拷贝到点 INTFACE.STY 中，以便不使用 CCT 的用户也可用它们来画表格。这些指令包括：

```
\begin{array}, \end{array},
\begin{tabular}, \end{tabular},
\begin{tabular*},
\end{tabular*}
```

上述指令中除了列定义中的 p 指令不能用外，其功能、参数均与 CCT 原来的指令一样。

与其有关的下面一些指令及参数也在 INTFACE.STY 中定义：

```
\arraystretch, \arraycolsep,
\tabcolsep, \arrayrulewidth,
\doublerulewidth, \extracolsep,
\multicolumn, \vline, \hline, \cline
```

关于它们的使用请参看第 2 章和第 3 章的相关内容。

PICTEX 的使用包括以下几个步骤：

- (1) 准备一个数据文件，这个文件中包括 PICTEX 的绘图指令。
- (2) 运行 PICTEX 程序来产生一个 TEX 源文件，此文件中包括产生图形的 TEX 指令。

(3) 将产生的 TEX 文件插入到排版的文件中去 (也可单独编译产生的 TEX, 并输出所绘图形)。

(4) 如果图形中含有无法用 CCT 的绘图指令画出的内容 (曲线) 时, PICTEX 还会生成一个叫做 PDF 的文件 (与产生的 TEX 源文件同名, 但扩展名为 “.PDF”), 并在所产生的 TEX 源文件的适当位置上插入 `\special{BMF=...}` 指令。用户在输出结果前需用程序 PDFTOBFM.EXE 将 PDF 文件转换为 BMF 文件才能得到这部分图形。

7.2.1 数据文件的格式及绘图指令

数据文件由一串绘图指令构成。绘图指令之间用空格、逗号或换行隔开。绘图指令包括指令名和参数。指令名和参数之间用等号 (“=”)、空格、逗号或换行隔开, 同一指令的不同参数之间用空格、逗号或换行隔开。指令名中可包含字母及字符 “-”、“*”, 其中的字母为关键字。数字参数就是通常的实数或整数, 如 1, 2.345, 5e-7; 字符串参数是反映包含在单引号中的一串字符, 如 ‘abcde’; 如果字符本身含有单引号, 则每个单引号在字符串中必须用连续两个单引号来表示, 如字符串 ‘Let’s go’ 代表 “Let’s go”; 关键字参数指的是规定的关键字, 如 ON, OFF, REAL 等。

PICTEX 的绘图指令有两大类。第一类用于定义绘图参数, 如图形的大小、线条的粗细等, 这类参数如果用户不给出, PICTEX 会使用它们设定的默认值; 第二类指令用来进行实际绘图。下面给出所有绘图指令的格式及功能。

(1) PIC_SIZE, PIC_SIZE*, 其指令形式为 $\text{PIC_SIZE}=w, h$ 或 $\text{PIC_SIZE}*=w, h$

其中 w, h 是两个实数, 它们分别给出图形的宽和高 (以毫米为单位)。在默认情况下, 绘图区域的宽为 110mm, 高为 70mm。PIC_SIZE 和 PIC_SIZE* 的区别在于如果用的是 PIC_SIZE, 实际输出的图形要略大一些。实际输出的图形的高度等于 $h+30$, 宽度等于 $w+30$ (即在横竖方向各多出 3cm), 以便留出一定的空间来打印标轴、坐标值等。如果想让实际输出的图形的大小恰好等于绘图区域, 则需使用 PIC_SIZE* 指令。

(2) WINDOW, 其指令形式为 $\text{WINDOW}=x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$

该指令用来定义用户窗口: (x_{\min}, y_{\min}) 给出图形左下角的用户坐标; (x_{\max}, y_{\max}) 给出图形右下角的用户坐标。默认情况下, x_{\min}, x_{\max} 分别等于 DATA 指令中所有横坐标的最小和最大值; y_{\min}, y_{\max} 分别等于 DATA 指令中所有纵坐标的最小和最大值。其他指令中的坐标均以此为参照系。

(3) ORIGIN, 其指令形式为 $\text{ORIGIN}=a, b$

这条指令用来定义坐标轴的位置: a 给出 y 轴位置的横坐标; b 给出 x 轴位置的纵坐标。默认情况下 $a=x_{\min}, b=y_{\max}$ 。

(4) LINE, VECTOR, 其指令形式为 $\text{LINE}=x_1, y_1, x_2, y_2$

这条指令用来画一条从 (x_1, y_1) 到 (x_2, y_2) 的线段。由于 TEX 只能画出有限种斜率的线段, PICTEX 将选择其中最接近的一条。类似地, 指令 $\text{VECTOR}=x_1, y_1, x_2, y_2$ 在图中画出一条从 (x_1, y_1) 到 (x_2, y_2) 的带箭头的线段。

(5) STRING, 其指令形式为 $\text{STRING}=s$

其中 s 为一个字符串。这条指令将 s 所代表的字符串拷贝到输出文件中。如果希望将字符串中对应一个坐标值或长度的某个数由用户坐标转换为 TEX 中的坐标后再写入到输出文

件的话,则可在这个数前面加上“%??”,其中“??”代表由两个字母 CX, XY, LY, LY 构成的四个指令之一。其中字母 X, Y, C, L 用大小写都可以。C 用来说明后面紧跟着的数对应一个坐标, L 用来说明后面紧跟着的数对应一个长度, X 用来说明对应的是横向(即按横向的比例进行转换),而 Y 用来说明对应的是纵向。“%??”不会被写进输出文件。例如下面的指令:

STRING='\\put(%cx0.5, %cy0.5){\\circle{%lx0.1}}'

将画出一个以 (0.5, 0.5) 为圆心,以 0.1 为半径(按 x 方向的长度单位)的圆,而:

STRING='\\put(%cx0.5, %cy0.5){\\Omega\$}'

将在坐标为 (0.5, 0.5) 的位置上打印一个“ Ω ”。

“%??”和它们后面的数之间不能留有空格或其他任何字符。除了上述情况外,字符串中不能含有 %。

(6) GRID, 其指令形式为 GRID= n, m

它指示程序在图中画出一个 $(n+1) \times (m+1)$ 的网络。

(7) GRAD, 其指令形式为 GRAD= n, m

当 $n > 0$ 时,指示程序在 x 轴上打印 $n+1$ 个坐标值;当 $n < 0$ 时,指示程序自动控制 x 轴上坐标值的打印;而当 $n = 0$ 时,指示程序不打印 x 轴上的坐标值。类似地,当 $m > 0$ 时,指示程序在 y 轴上打印 $m+1$ 个坐标值;当 $m < 0$ 时,指示程序自动控制 y 轴上坐标值的打印;而当 $m = 0$ 时,指令程序不打印 y 轴上的坐标值。

注意:若选择了在 x 轴上打印整数值,则 $x_{\max} - x_{\min}$ 应能被 n 整除。类似地,若选择了在 y 轴上打印整数值,则 $y_{\max} - y_{\min}$ 应能被 m 整除。否则打印的值可能不对。

(8) AXIS_STATUS, 其指令形式为 AXIS_STATUS= k_1, k_2

其中 k_1 和 k_2 必须是关键字 OFF, REAL, INTEGER 之一。

k_1 对应于 x 轴, k_2 对应于 y 轴。OFF 表示不打印坐标轴, REAL 表示在坐标轴上打印浮点数刻度,而 INTEGER 表示在坐标轴上打印整数刻度。如:

AXIS_STATUS=INTEGER, OFF

表示不打印 y 轴,在 x 轴上打印整数值。默认值为:

AXIS_STATUS=REAL, REAL

(9) AXIS_TYPE, 其指令形式为 AXIS_TYPE= k_1, k_2

其中 k_1 和 k_2 必须是关键字 NORMAL, LOG 之一。

k_1 对应于 x 轴, k_2 对应于 y 轴。NORMAL 表示坐标轴为线性坐标(普通坐标), LOG 表示坐标轴为 LOG 坐标(对数坐标),即在打印坐标值时在坐标值为 a 的地方打印出 10^a 的值。默认值为:

AXIS_TYPE=NORMAL, NORMAL

(10) SXIS_NAME, 其指令形式为 SXIS_NAME= s_1, s_2

其中 s_1 和 s_2 是两个字符串,它们分别给出 x 轴和 y 轴的名称。如:

SXIS_NAME='\$x\$', '\$y\$'

默认值为 SXIS_NAME=' ', ' '。

(11) DATA, 其指令形式为 DATA= $n, x_1, y_1, \dots, x_n, y_n$

每个 DATA 指令给出一条曲线的数据。它后面的参数给出曲线上一串点的坐标值。 n 是所给出的点数, 这些点的坐标由 $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ 给出。绘制曲线所需要的其他一些数据由指令 CURVE_TYPE, INTERPOLATION, MARK_SYMBOL 及 DASHED_CURVE 给出, 请参看后面的有关说明。

(12) END 其指令没有参数。它表示数据文件到此结束。后面的内容将被忽略。

注: 以下 4 条指令用来设定绘制曲线的一些参数。这些参数一旦被设定, 则其值对跟随其后的所有的 DATA 指令都有效, 直到它们被重新赋给新的值为止。

(13) CURVE_TYPE, 其指令形式为 CURVE_TYPE = k

其中 k 必须是关键字 THIN, THICK, MARK 之一。它用来选择绘制曲线的粗细。当 $k = \text{THICK}$ 时为粗线, 而当 $k = \text{THIN}$ 时为细线。初始值 (即默认值) 为:

CURVE_TYPE = THIN

如果选取 $k = \text{MARK}$, 则 DATA 指令画出的不是曲线, 而是在每个给出的点上画一个由 MARK_SYMBOL 指令给出的符号。

(14) INTERPOLATION, 其指令形式为 INTERPOLATION = k

其中 k 必须是关键字 LINEAR, SPLINE 之一。它用来选择绘制曲线时所用的插值类型。LINEAR = 线性插值, SPLINE = 二次样条插值。初始状态下 (即默认情况下) 为:

INTERPOLATION = LINEAR

(15) MARK_SYMBOL, 其指令形式为 MARK_SYMBOL = s

其中 s 为一个字符串。PICTEX 在曲线上每隔一定距离标上一个 s 所代表的 TEX 符号, 用以标识曲线, 初始状态下 (默认情况下) MARK_SYMBOL 为一个空字符串。

(16) DASHED_CURVE, 其指令形式为 DASHED_CURVE = n, l_1, \dots, l_n

其中 $n \geq 0$ 为整数 (当 $n = 0$ 时指令变成 DASHED_CURVE = 0), l_1, \dots, l_n 是 n 个长度值 (以毫米为单位), 它们可被用来得到各种不同的虚、实线。PICTEX 绘制的曲线由线段和空白交替构成, l_1, l_3, \dots 依次给出线段的长度, l_2, l_4, \dots 依次给出空白的长度。当 $l_1 + \dots + l_n$ 小于整个曲线长度时则重复使用 l_1, \dots, l_n 。 n 通常应该是偶数, 因为当 n 为奇数时 DASHED_CURVE = n, l_1, \dots, l_n 等价于 DASHED_CURVE = $n-1, l_1 + l_n, \dots, l_{n-1}$ 。如果 $n = 0$ 或没有空白 ($n = 1$) 或所有空白的长度为 0, 则得到一条实线。初始状态 (即默认情况下) 为:

DASHED_CURVE = 0

即曲线为实线。

若数据文件中的一行的第一个字符是 “%”, 则这一行的内容将被忽略。它用来在数据文件里插入一些说明, 或是临时取消某些绘制指令。

PICTEX 还在产生的 TEX 源文件中定义了一条 TEX 命令 \centerbox。这条命令使得其参数的正中心为其参考点。在 STRING 指令中可用它帮助定位。例如:

STRING = \put(%cx0.5, %cy0.5){\centerbox {\$\Omega\$}}

将使字符 “ Ω ” 的中心恰好位于 (0.5, 0.5)。

下面给出是一个数据文件的例子, 其结果如图 7-1 所示。

pic_size=80, 40


```

origin=0 , 0
axis_status=real , integer
axis_name='x$', '$\sin(x)$ , $ \frac{x}{\pi}$'
grad=1 , 1
%--- First curve - - - -
curve_type=thick
interpolation=spline
mark_symbol='S \bullet$'
dashed_curve=4 , 2 , 0.5 , 0.5 , 0.5
data=21
3.1415926536E+00 , 0.0000000000E+00
2.8274333882E+00 , 3.0901699437E -01
2.5132741229E+00 , 5.8778525229E-01
2.1991148575E+00 , 8.0901699437E -01
1.8849555922E+00 , 9.5105651629E-01
1.5707963268E+00 , 9.9999999999E-01
1.2566370614E+00 , 9.5105651630E-01
9.4247779608E-01 , 8.0901699438E-01
6.2831853072E-01 , 5.8778525230E -01
3.1415926536E -01 , 3.0901699438E-01
0.0000000000E+00 , 0.0000000000E+00
-3.1415926535E-01 , -3.0901699436E-01
-6.2831853071E -01 , 5.8778525228E-01
-9.4247779607E-01 , -8.0901699437E -01
-1.2566370614E+00 , -9.5105651629E-01
1.5707963268E+00 , -9.9999999999E -01
-1.8849555921E+00 , -9.5105651630E-01
-2.1991148575E+00 , -8.0901699438E -01
2.5132741229E+00 , -5.8778525230E-01
-2.8274333882E+00 , 3.0901699438E-01
3.1415926536E+00 , 3.6379788071E-12
%--- Second curve -----
curve_type=thin
interpolation=linear
mark_symbol='$ \circ$'
dashed_curve=0
data=2 , -3.1416 , -1.0 , 3.1416 , 1.0
end

```

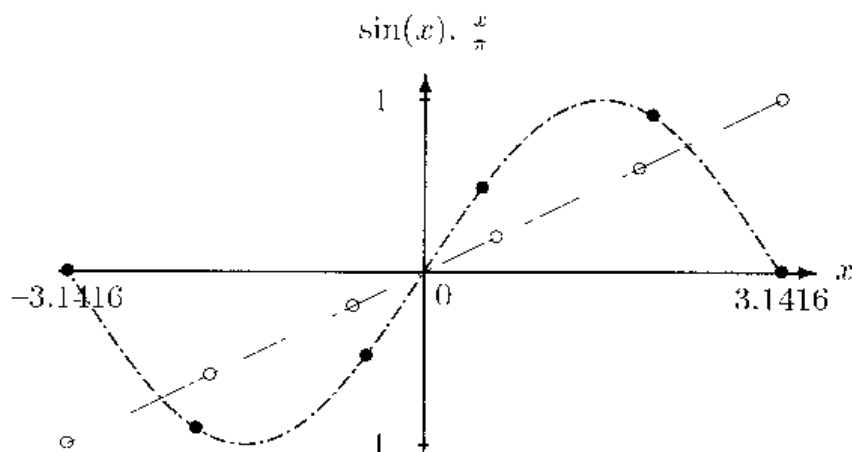


图 7.1 数据文件的结果

7.2.2 用 PICTEX 处理数据文件

准备好绘图的数据文件后, 首先应该用程序 PICTEX 对其进行处理, 将它转换为 TEX 源文件。PICTEX.EXE 的调用格式如下:

```
c>pictex 文件名 或 c>pictex
```

在后一种情况下, 程序会要求用户键入一个文件名。这里的文件名就是待处理的数据文件名。如果省略文件名中的扩展名, 程序会加上 “.DAT” 作为扩展名。用户可在文件名中使用全局性字符 (即 “?” 和 “*”), 程序会自动寻找与之匹配的所有文件并逐个进行处理。运行完毕后对每个数据文件产生两个输出文件, 这两个文件的文件名与数据相同, 扩展名分别为 “.TEX” 和 “.PDF”。

第一个文件是 TEX 源文件, 它包含除用 DATA 指令给出的曲线之外的所有其他图形元素 (包括坐标轴、坐标值等), 这部分图形元素均利用 CCT 的 picture 环境中的指令直接画出, 因此将它们直接放入产生的 TEX 源文件中。用户只需将产生的 TEX 源文件插入到自己的 CCT 或 TEX 源文件中即可得到相应的图形。

第二个文件是 PDF 文件, 其中包含数据文件中用 DATA 指令给出的曲线的数据。由于无法用 TEX 直接画出任意曲线, PICTEX.EXE 处理时将这些曲线的数据按一定格式存在 PDF 文件中, 并在产生的 TEX 源文件中加进指令 “\special{BMF=BMF 文件名}”, 其中的 BMF 文件名由数据文件的文件名加上扩展名 “.BMF” 构成。这样用户只需在显示或打印结果之前利用程序 PDFTOBMF.EXE 将 PDF 文件转换为 BMF 文件, 便可利用 CCT 驱动程序图形接口将这部分图形迭加到前一部分图形上去。

如果数据文件中不包含 DATA 指令, 则不产生 PDF 文件。

按上述方式产生的 TEX 源文件只包含绘图指令, 因此不能直接用 TEX 进行编译, 而只能被插入到其他的 TEX 源文件中一起处理。用户有时希望能够单独编译一个图形, 便于后期的修改加工, 为此 PICTEX.EXE 提供了一个命令行选择项 “-I”, 当给出此选择项

时程序会在所产生的 TEX 源文件的开头和结尾加入一些必要的指令,使其构成一个完整的可直接用 TEX 编译的源文件(但这样得到的源文件不能被直接插入其他 TEX 源文件)。

7.2.3 将 PDF 文件转换为 BMF 文件

前面已经提到,必须用程序 PDFTOBMF.EXE 将 PDF 文件转换成 BMF 文件,才能在显示或打印时得到图形中的曲线部分。PDFTOBMF.EXE 的用法与 PICTEX.EXE 类似,调用格式为:

```
C>pdftobmf 文件名
```

或:

```
C>pdftobmf
```

用法同 PICTEX.EXE 命令,转换产生的 BMF 文件名由 PDF 文件名加上扩展“.BMF”构成。

另外,用户还可用选择项“-R”来给出所产生的图形的分辨率,以每英寸的点数为单位(DPI)。给出的分辨率最好等于输出设备的分辨率,否则驱动程序在输出时将进行插值运算从而降低图形的质量和处理速度。如果用户没有使用此选择项,则程序开始运行前会询问:

Resolution in number of dots per inch (180)?

即让用户键入分辨率。当分辨率等于 180 DPI 时可以直接按回车键(程序设定的默认值),否则须先输入分辨率再按回车键。

当使用不同分辨率的输出设备时,最好按输出的分辨率重新生成 BMF 文件,以保证图形的质量。

使用“-R”选择项或回答询问时还可用“xxx:yyy”的形式给出横向和纵向上不同的分辨率。如“-R240:216”表示横向分辨率为 240DPI,纵向分辨率为 216DPI。

7.3 与其他绘图软件的接口程序 HPGL2CCT.EXE

HPGL2CCT.EXE 将 HP 绘图仪的命令文件转换成 PDF 文件和 TEX 文件。由于大部分绘图软件均支持 HP 绘图仪,故此程序可作为一个通用的图形接口程序。用户只需将绘图软件(如 AutoCAD)所产生的 HP 绘图仪命令存入一个文件,即可插入 CCT 的排版中。其命令格式如下:

```
C>HPGL2CCT [选择项] 输入文件名 [选择项]
```

其中输入文件即为包含 HP 绘图命令的文件。程序运行时首先扫描输入文件,然后便进入图 7-2 所示的菜单,以便用户可以修改一些参数或在屏幕上显示图形。

为在菜单中修改某项参数或执行某条命令,用户只需用箭头键将光标移到相应的位置上然后键入回车即可。用户还可按每项中用不同颜色显示的字符来直接跳至某一项。

HP GL TO CCT TRANSFER UTILITY	
(Version 1.0 , Jun 19 1992)	
Current picture no.	==> 1
Output file name	==> sample2
Width of picture	==> 10 cm
Height of picture	==> 10 cm
Line thickness	> 0.141 mm
Rotation	==> 0 deg.
Display resolution	==> 180 dpi
Process Visualize on the screen Quit	
Total number of	pictures = 1
Original aspect	ratio = 12280:8947
Press<Return> or high-lighted letter to select an item.	

图 7 2 HPGL2CCT.EXE 的菜单

下面解释一下菜单中每项的含义。

(1) Current picture no: 当输入文件中包含数幅图形时, 此参数用来选择处理其中的第几幅图。对 HPGL2CCT.EXE 而言, 此参数不起作用 (因为一个输入文件中只能有一幅图形)。它主要为其他一些接口程序而设 (如用于处理 NCAR 中间绘图文件的程序 HPGL2CCT.EXE)。

(2) Output file name: 给出输出文件名。其中不能含有扩展名。

HPGL2CCT.EXE 将其加上 “.PDF” 作为 PDF 文件名, 而加上 “.TEX” 作为 TEX 文件名。默认值为文件名去掉扩展。

(3) Width of Picture: 给出输出图形的宽度, 默认值为 10cm。

(4) Height of picture: 给出输出图形的高度, 默认值为 10cm。

(5) Line thickness: 给出输出图形中线条的宽度 (粗细), 以毫米为单位, 默认值为 0.141mm。

(6) Rotation: 选择将图形旋转 0° , 90° , 180° 或 270° 。当用命令行选择项给出此参数时, 在 “R.” 后面跟随 0, 1, 2 或 3, “-Rn” 表示旋转 $n \times 90^\circ$ 。默认值为 0° 。

(7) Display resolution: 给出屏幕显示时 (即 “Visualize on the screen”) 所假定的分辨率。通过修改它可在不改变图形宽度和高度的情况下改变屏幕上所显示图形的大小。此参数不影响输出的 PDF 和 TEX 文件。默认值为 180dpi。用户也可用 “xxx:yyy” 的形式在横竖方向给出不同的分辨率, 如 “180:160” 表示横向分辨率为 180dpi, 纵向分辨率为 160dpi。

(8) Process: 选择好各项参数后即可执行此命令, 指示 HPGL2CCT.EXE 开始进行转换并输出 PDF 和 TEX 文件。

(9) Visualize on the screen: 在屏幕上显示所处理的图形以帮助用户选择参数。

(10) Quit: 退出程序返回 DOS。

菜单中最下面三行告诉用户一些有用的信息。“Total number of pictures”给出输入文件中图形的个数, 在这里总是 1。“Original aspect ratio”给出输入图形的宽度与高度之比。用户若想使输出图形保持原有的宽高比例, 则应选择“Width of picture”与“Height of picture”使其符合此比例。如果将“Width of picture”和“Height of picture”两个参数中的一个选成 0, 则程序会自动根据输入图形的高宽比及另一个参数值来计算它的值。例如假设输入图形的宽高比为 4 : 3, Width=0cm, Height=6cm, 则程序将计算出 $\text{Width}=6 \times 4/3\text{cm}=8\text{cm}$ 。

上述参数值均可用相应的命令行选择项来设定初值。选择项的名字就是菜单中用不同颜色显示的字符, 后面跟随参数值即可。如“-W15.3”将“Width of picture”设置成 15.3cm, “-R2”将“Rotation”设置成 180° 。除菜单中的参数外, 还有下列选择项:

-G: 设置显示图形时采用的屏幕图形方式, 与 DVISCR.EXE 中的“-G”的参数相同。

-B: 后面不跟参数。用来选择批处理方式(batch mode)。使用此选择项后, 程序将不再进入菜单而直接开始运行。此选择项主要用于批命令中, 用此选择项时, 用户应该同时用其他选择项来设置所有的参数(除非使用默认值的参数)。我们建议用户在调整好一幅图形的参数后, 马上建立一个批命令文件并在其中用命令行选择项给出所有参数。这样下次再转换这幅图时, 只需运行批命令文件即可, 而不必记住所用的参数。关于如何将所产生的 PDF 和 TEX 文件插入 CCT 的排版中, 请参看第 7.2 节。

最后需要说明的是 HP GL2CCT.EXE 并不处理 HP 的所有绘图仪命令, 而只支持其中的一些最基本也是最常用的命令。

图 7-3 就是利用此接口产生的一个 AutoCAD 的图形。

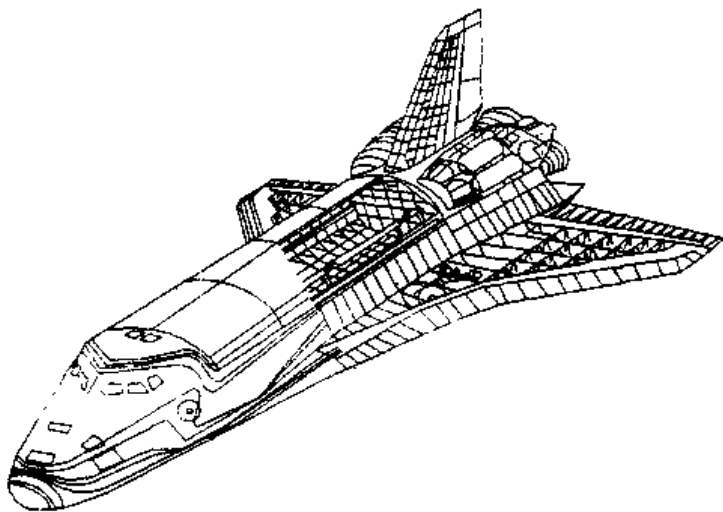


图 7-3 CCT 与 AutoCAD 的接口生成的一幅图

7.4 与数字化扫描仪的接口程序 TIFTOBMF.EXE

在排版过程中,有时需要将一些图像、照片插在正文中。为此, CCT 提供了一个接口程序 TIFTOBMF.EXE, 它可以把 TIFF 格式的文件转换成 BMF 文件 (参看第 7.1 节)。由于一般扫描仪及图像处理软件均支持 TIFF 格式。这样便可利用 CCT 的设备驱动程序的图形插入功能将扫描图像等直接插入到正文中。

接口程序 TIFTOBMF.EXE 将 TIFF 文件转换为 BMF 文件。这个程序的用法如下:

```
C> TIFTOBMF[选择项] 输入文件名 [选择项]
```

其中输入文件名是 TIFF 文件名 (不含扩展名, 程序会自动加上扩展 “.TIF”)。程序运行完毕后, 产生一个与 TIFF 文件同名, 扩展为 “.BMF” 的输出文件。同时, 为了便于用户将图形插入正文, TIFTOBMF.EXE 程序还自动生成一个与 TIFF 文件同名但扩展名为 “.TEX” 的文件。其中包含了插入图形的 TEX 指令 (程序会自动计算正文中应该留出的空间)。这样用户只需将生成的 TEX 文件插入到用户源文件中的适当位置上, 即可将图像插入正文。

此外, TIFTOBMF.EXE 还允许用户使用选择项 “-N” 和 “-R”。选择项 “-N” 用来反转原图像中的黑白颜色 (即将原来图像中的白点变为黑点, 黑点变为白点); 而选择项 “-R” 后面必须跟随一个正数, 以给出 BMF 文件的 dpi 值 (即图像的分辨率), 默认时程序将 TIFF 文件中的 dpi 值直接拷入 BMF 文件 (如果用户给出一个不同于 TIFF 文件中的 dpi 值, 程序并不对图像进行插值转换, 即图像点阵的大小保持不变, 这意味着输出图像的尺寸将会改变)。

与 PDFTOBMF.EXE 一样, 用户还可用 “-Rxxx:yyy” 的形式在横向和纵向给出不同的分辨率。

这些选择项可放在文件名前, 也可放在文件名后, 但必须用空格与文件名隔开。

目前 TIFTOBMF.EXE 只能处理包含单个非压缩黑白图像的 TIFF 文件。当用户的 TIFF 文件包含彩色图像、灰度图像或采用了压缩格式时, 需先用其他软件将所需图像转换成黑白图像, 并采用非压缩格式存储。需要注意的是一个 TIFF 文件中只存一个图像 (有许多这方面的转换程序)。

TIFTOBMF.EXE 除能处理 TIFF 文件外, 还支持 STAR-400 手持扫描仪所产生的 “B” 格式文件。用户需用 “-T1” 选择项来告诉程序输入文件是 STAR-400 的 “B” 格式文件。此时输入文件的扩展名必须是 “.IMG”, 默认分辨率为 33dpi。

CCT 系统中还提供一个可将 BMF 文件转换为 TIFF 文件的程序 BMFTOTIF.EXE, 用法为:

```
c:\> BMFTOTIF 文件名
```

其中文件名不含扩展名。BMFTOTIF.EXE 将文件名分别加上扩展 “.BMF” 和 “.TIF” 作为输入及输出文件名。

图 7-4 就是用此接口产生的一幅用 HP ScanJet 扫入的图像。



图 7-4 CCT 与数字化扫描仪的接口生成的一幅图

7.5 BMP 图像的插入技术

BMP 图像是 CCT 系统通常处理的图像。CCT 系统对 BMP 图像处理功能主要基于设备驱动程序所提供的图形接口, 这个接口允许用户将符合一定格式的图像文件 (称为 BMP 文件) 插入到版面的任意位置上。其常用的功能有下面两个:

(1) 将 BMP 文件转换为 TEX 文件, 可用来处理通过数字化扫描仪输入的图像或在“画图”软件可以显示的图形, 插入到 DVI 文件中。

(2) 将 BMP 文件转换为 PCX 文件, 可用来处理通过数字化扫描仪输入的图像或在“画图”软件可以显示的图形, 插入到 PS 文件中。

下面将分别介绍这些个功能。

BMP 文件转换为 TEX 文件

如果利用扫描仪或画板将图形保存在一个黑白 (即单一颜色) 的 BMP 文件 FILE.BMP

(文件名可随意定义, 但扩展名一定要是 BMP) 中, 然后可以利用下面的命令将 FILE.BMP 文件转化成 TEX 文件 FILE.TEX:

```
C:\> 工作子目录 >img2cct FILE.BMP -r200 ←(回车)
```

注意: 工作子目录是你正在编译 CCT 文件的子目录 (也称为文件夹), IMG2CCT 是 CCT 系统的命令, -r 是图形分辨率, 可以随意选取, 后面的数字越大, 其分辨率就越高, 就将原来的 FILE.BMP 缩得更小, 分辨率最低的通常是 -r100, 而最高的通常是 -r400。FILE.BMP 是你自己保存的 BMP 文件, 在这个文件后, 系统就生成 FILE.TEX 文件, 并可以插入到你的 TEX 文件中, 执行这个命令的同时还生成一个 BMF 文件 FILE.BMF。这时在你的 TEX 文件需用下面的命令才能将图形插入。这个命令为:

```
\centerline{\input FILE.TEX}
```

其中 \centerline 是为了使得图形居中, 如果图形靠左, 就将其省略; 如果需将图形靠右, 换成 \hfill。例如, 现在有一个利用扫描仪扫描得到的单颜色的文件 “FIG7-5.BMP”, 执行命令:

```
C:\> 工作子目录 >img2cct fig7-5.BMP -r300 ←(回车)
```

再在 CCT 文件当前位置使用下面的命令, 就能在文章中的当前位置插入图 7-5。

```
\centerline{\input fig7-5.TEX}
```

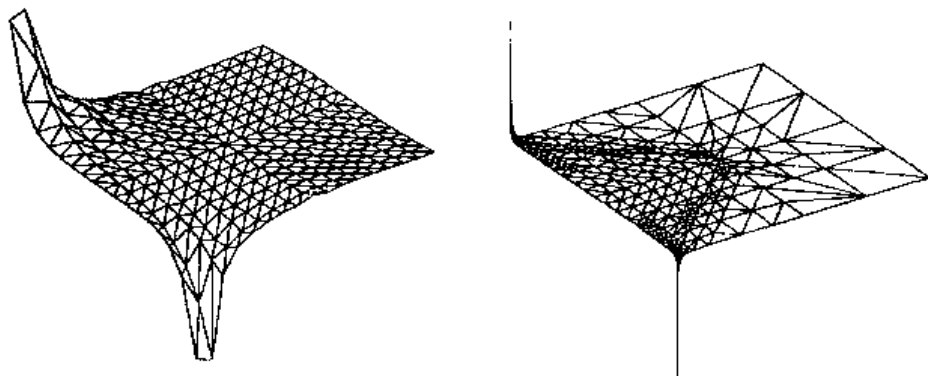


图 7-5 CCT 与数字化扫描仪的接口生成的一幅图

将 BMF 文件转换为 PCX 文件

前面利用 IMG2CCT 命令可以同时生成 TEX 文件和 BMF 文件, 但是, 如果你还要将你的打印文件 DVI 文件编译成 PS 文件 (也是打印文件), 还需要将 FILE.BMF 文件转化成 PCX 文件 FILE.PCX, CCT 系统才能将图形插入 PS 文件中。将 FILE.BMF 文件转化成 PCX 文件 FILE.PCX 的命令为:

```
C:\> 工作子目录 >BMF2PCX FILE.BMF ←(回车)
```

其中 “FILE.BMF” 文件的扩展名可以省略。执行这个命令后, 系统就生成一个 PCX 文件 FILE.PCX。

将 PS 图形文件插入文章中

如果需要将 PS 图形文件的图形插入文章中, 可以利用下面的命令:


```
\centerline{\includegraphics[width=6cm]{FILE.PS}}
```

其中“\includegraphics”是一个插入 PS 图形和 PES 图形的命令，“[width=6cm]”是定义图形的宽度，“FILE.PS”是已经用其他应用软件生成的 PS 图形文件，需要放在花括号“{ }”中。例如，图 7-6 就是一幅图利用计算机计算结果在绘图软件生成的 PS 图形后插入文章的。更多的图形图像（包括彩色图形图像）插入方法可参考第 8~11 章。

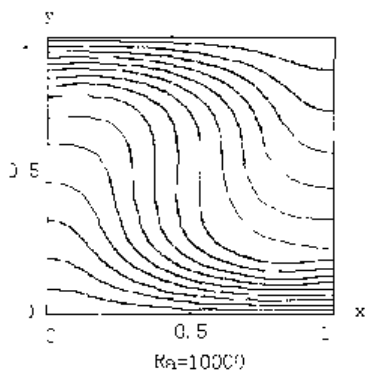


图 7-6 CCT 与 PS 图形文件接口生成的一幅图

第 8 章 LATEX 的图形接口

在这一章中，主要介绍一些有关的历史资料和基本 LATEX 术语。同时也介绍 Encapsulated PostScript (EPS) 图形格式，EPS 和 PS 的不同之处，以及将其他图形格式转换为 EPS 格式的方法。

8.1 简介

当 Knuth 编写 TEX 的时候，还没有 PostScript/EPS，JPEG，GIF 等图像格式，因此 DVI 并不直接支持这些格式的图形。不过，TEX 允许 DVI 文件包含 `\special` 命令来向 DVI 处理程序传递命令，这就使得 TEX 和 LATEX 能够使用 DVI 处理程序所支持的图像格式。

因为 DVI 文件经常被转为 PostScript 文件，所以对 EPS 格式 (Encapsulated PostScript，是 PostScript 的子集) 的图形支持最好。在 LATEX 中插入 EPS 图像最初是通过低层命令 `\special` 来完成的。为方便起见，专门为 LATEX 2.09 设计了两个高层的宏包 `epsf` 和 `psfig`。`epsf` 提供了 `\epsfbox` 命令来插入图片，另外有三个命令来控制所插入的图片的缩放。而 `psfig` 中的 `\psfig` 命令除了用来插入图片外，还可以缩小、放大、旋转它们。然而，尽管 `psfig` 的语法比较新颖，但是它的代码却没有 `epsf` 的稳定。于是作为这两个宏包结合的产物，`epsfig` 宏包使用 `psfig` 的语法和大部分 `epsf` 的稳定代码。不过，`epsfig` 仍然使用了一些不稳定的 `psfig` 的代码。

随着 1994 年 LATEX2 ϵ 的发布，LATEX3 小组认识到在 LATEX2 ϵ 中插入图形时普遍存在的一些问题，并且致力于开发出一个由全新命令组成的，比其他插图命令更加有效、稳定、方便的图形宏包套件“LATEX graphics bundle^①”。

尽管在 LATEX 中能够适用几乎所有的图像格式，但 Encapsulated PostScript (EPS) 是最早被引入 LATEX 中的图像格式的，因此对它的支持也最好。例如，要在 LATEX 文件中加入一幅 EPS 图形，可在文件设定区 (preamble) 中加入：

```
\usepackage{graphicx}
```

然后，在文件中用下面的命令来加入图形 `file.eps`

```
\includegraphics{file.eps}
```

还可加入 `height` 或 `width` 选项来使得所插入的图形缩放为指定的高度或宽度：

^① 已经有 LATEX 图形宏包套件的 plain TEX 版本，可从 CTAN/macros/generic/graphics/ 得到相关的文件。

```
\includegraphics[height=4cm]{file.eps}
\includegraphics[width=3in]{file.eps}
```

另外，使用 `angle` 选项来旋转所插入的图形。

```
\includegraphics[angle=45]{file.eps}
```

LATEX 图形宏包套件包括“标准”的 `graphics` 宏包和“扩展”的 `graphicx` 宏包。这两个宏包都有一个 `\includegraphics` 命令，不过版本不同。`graphicx` 版的 `\includegraphics` 采用“命名机制”（类似 `psfig` 的语法），使用起来比较简单方便，却违反了 LATEX 可选参数的语法规则。作为一种妥协，就有了两种版本的 `\includegraphics`，版本 `graphics` 遵从 LATEX 的语法规则，而 `graphicx` 版本则使用更为简便的命名机制。`graphicx` 版本的 `\includegraphics` 支持图形的缩放和旋转，而相应的 `graphics` 版本则要被置于 `\scalebox` 或 `\rotatebox` 才能达到同样的效果。

本章使用 `graphicx` 宏包是因为它比 `graphics` 宏包简便易用。尽管 `graphicx` 宏包会使生成图例的命令有些笨拙且效率降低，但是这些例图同样可以用 `graphics` 宏包来完成。

为保证对旧版本的兼容性，图形宏包套件中也提供了一个 `epsfig` 宏包，用以替代旧版本的 `epsfig`。这一版本的 `epsfig` 中的命令如 `\epsfbox`，`\psfig`，`\epsfig` 只是作为 `\includegraphics` 的一个简单的封装，效率不高，只适合用来编译旧的文档。在编写新文档时要用 `\includegraphics`。

LATEX 图形宏包套件还试图解决插入非 EPS 格式的图像（如 GIF 和 JPEG 等）的问题。由于 DVI 转换程序一般不支持直接插入的非 EPS 格式的图形，所以这些图形在加入到 LATEX 文件前必须先转为 EPS 格式。在一些情况下，这一格式转换可由 DVI 到 PS 的转换程序自动完成。第 8.6 节介绍了一部分常用的图像格式转换工具，第 10.4 节则介绍了怎样在 LATEX 中使用非 EPS 格式的图像。

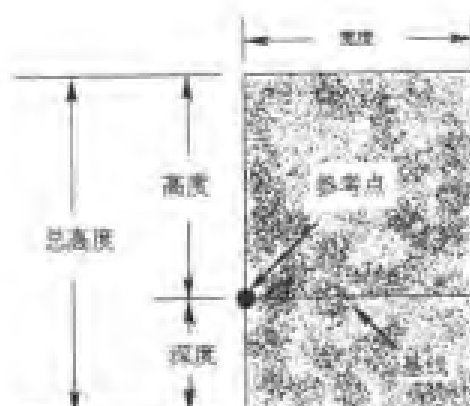


图 8-1 LATEX 盒子示例

8.2 LATEX 图形盒子

任何 LATEX 对象 (字符、图形等) 都把盒子作为单位, 每个盒子在它的左侧均有一参考点。盒子的基线是通过参考点的一条水平线。当 LATEX 排列文本时, 这些字符的参考点被从左到右地排成一条直线 (称为当前基线), 并使它与字符的基线对齐。LATEX 也用同样的方法来处理图形和其他对象, 每个对象的参考点都被放置于当前基线上。

每个 LATEX 盒子的大小由高度、深度、宽度来决定。高度是参考点到盒子顶部的距离, 深度是参考点到盒子底部的距离, 宽度则是盒子的宽度。全部高度被定义为从盒子底部到顶部的距离, 即: 全部高度 = 高度 + 深度 ($\text{totalheight} = \text{height} + \text{depth}$)。

所有未曾旋转的 EPS 图形的参考点都是它的左下角 (参见图 8-2 的最左边的盒子), 深度为零, 高度就等于全部高度。图 8-2 中间的盒子则是将图形旋转后, 它的高度不等于全部高度。右边的盒子则展示可将图形旋转使其高度为零。

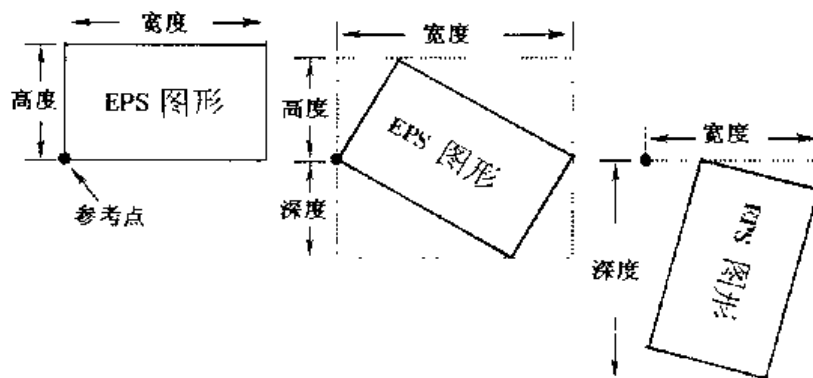


图 8-2 LATEX 盒子的旋转示例

8.3 Encapsulated PostScript

PostScript 语言能够用来描述图形和文本。它既可在传统的 PostScript (PS) 文件中来描述多页的文档, 也用于 Encapsulated PostScript (EPS) 文件中来描述插入文档的图形。PS 和 EPS 主要的区别在于:

- EPS 文件仅仅使用部分特定的 PostScript 操作符。
- EPS 文件必须含有一个定界的盒子来确定 EPS 图形的大小。

8.3.1 禁止使用的 PostScript 操作符

由于 EPS 图形需要和其他对象一起共享页面, 所以 EPS 文件中不能使用如选择页面大小 (A4 或 letter) 和清除整个页面 (erasepage) 等命令。下面是一些不能在 EPS 文件中

使用的 PostScript 操作符。

a3	a4	a5	banddevice
clear	cleardictstack	copypage	erasepage
exitserver	framedevice	grestoreall	initclip
initgraphics	initmatrix	letter	legal
note	prenderbands	quit	renderbands
setdevice	setglobal	setpagedevice	setpageparams
setscbatch	setshared	startjob	stop

尽管下列 PostScript 操作符可以在 EPS 文件中使用, 但是使用它们如果不适当, 则极易导致错误。

nulldevice	setcolortransfer	setgstate	sethalftone
setmatrix	setscreen	settransfer	undefinedfont

上面的一些操作符可能会使 DVI 文件到 PS 文件的转换失败, 另一些则可能会导致如图形位置错误或图形消失等奇怪的问题。因为这些操作符绝大部分不会影响到 PostScript 的堆栈, 所以, 在大多数情况下, 只要把这些引起问题的操作符删除就可解决。其他情形则需要更多有关 PostScript 的知识。

8.3.2 EPS 的有界盒子

习惯上, PostScript 文件的第一行是标明该文件的类型, 接下来的几行是被称为 header 或 preamble 的注释行 (PostScript 的注释符也是 %)。这些注释中的第一行就定义了定界盒子 (BoundingBox)。定界盒子行有四个整数值, 分别代表:

- (1) 定界盒子的左下角的 x 坐标。
- (2) 定界盒子的左下角的 y 坐标。
- (3) 定界盒子的右上角的 x 坐标。
- (4) 定界盒子的右上角的 y 坐标。

下面的例子是一个由 gnuplot 软件生成的 EPS 文件的前五行。

```
%!PS-Adobe-2.0 EPSF-2.0
%%Creator: gnuplot
%%DocumentFonts: Times-Roman
%%BoundingBox: 50 50 410 302
%%EndComments
```

这个 EPS 图形的左下角的坐标是 (50, 50), 右上角的坐标是 (410, 302)。这里坐标的单位是 PostScript point, 等于 $\frac{1}{72}$ 英寸。这样, 这幅图的自然宽度为 5 英寸, 相应的自然高度为 3.5 英寸。需要注意的是, PostScript point 要比 TEX point (等于 $\frac{1}{72.27}$ 英寸) 稍

大, 在 TEX 和 LATEX 中, PostScript points 被称为 “big points” 或简称 bp, TEX point 被称为 “points” 或简称 pt

8.3.3 把 PS 文件转换为 EPS 文件

单页的 PostScript 文件, 如果没有包含不适当的命令, 可用下述方法转为 EPS 文件并加上定界盒子。由于这些方法都不检查非法的 PostScript 操作符, 所以只有在被转换的 PostScript 文件本身不含有那些被禁止使用的操作符的情况下, 才能得到正确的 EPS 文件。

(1) 最方便的是用 GhostScript 里带的 ps2epsi 程序控制 (参见第 8.5 节)。它可以读取 PostScript 文件并计算定界盒子的参数, 然后生成一个含有 PostScript 图形的 EPS 文件。最终得到的 EPS 文件是 EPSI 格式, 即在文件的开始部分带有一个低分辨率的预览位图。因为这个预览位图是 ASCII 编码的, 所以不会造成像第 8.4.1 节的缓冲区错误。不过, 它会使文件变大。

(2) 另一种方法是计算定界盒子的参数, 然后把它加到 PostScript 文件中或作为插图命令的参数 (比如用 `\includegraphics` 命令的 `bb` 选项)。计算定界盒子的方法有以下几种:

- 用 Ghostview 或 GSview 将 PostScript 图形打开, 当鼠标在图形上移动时就会显示相应的坐标 (以页面的左下角为参照点)。记下图形的左下角和右上角的坐标就可确定它的定界盒子。
- 打印一份 PostScript 图形, 测量它的左下角和右上角到页面的左下角的水平和垂直距离 (以英寸为单位), 然后乘以 72 就可得到它的定界盒子。
- 使用 `bbfig`。`bbfig` 是一个脚本文件, 它在 PostScript 图形文件前面加入一些 PostScript 命令并送往 PostScript 打印机。这时加入的命令会计算定界盒子, 然后将结果打印在 PostScript 图形的上面。

8.3.4 修正非标准的 EPS

一些应用程序生成非标准的 EPS 文件, 另一些应用程序则根据它们自己的喜好来加入一些 PostScript 的 “增强” 功能, 还有一些应用程序生成非常糟糕的 PostScript 代码。而由此得到的 EPS 文件不能在 LATEX 中使用。所幸的是, 许多有用的工具可修正这些非标准的 EPS 文件。

(1) Mathematica — 由 Mathematica 2.x 生成的 EPS 文件是用 Mathematica 的扩展 PostScript 写成的。在非 Mathematica 程序使用这些 EPS 文件时, 必须要把那些非标准的扩展代码删除才行。DOS 版本的 Mathematica 2.x 带有一个名为 `printps.exe` 或 `rasterps` 的工具可以将那些非标准代码删除。对于 UNIX 版本的 Mathematica 2.x, 这个任务可由 `psfix` 来完成。参考你的 Mathematica 文档或与 Wolfram Research 联系来获取进一步的信息。

(2) FrameMaker — 由 FrameMaker 生成的 PostScript 文件没有遵循 Adobe 公司的与纸张无关的声明。FrameMaker 第 4 版和第 5 版生成的 PostScript 文件可分别用下列脚本来修正:

`ftp://ftp.irisa.fr/pub/FrameMaker/Filters/fixfm4 1.3.tar.gz`

`ftp://ftp.irisa.fr/pub/FrameMaker/Filters/fixfm5-2.0.tar.gz`

用于修正 FrameMaker 第 3 版和第 4 版生成的 PostScript 文件的脚本 `fixfm3ps.sh` 和 `fixfm4ps.sh` 可从下面的地址得到:

`ftp://ftp.frame.com/pub/techsup/framers/platform.ind/filters/fixfm3ps`

`ftp://ftp.frame.com/pub/techsup/framers/platform.ind/filters/fixfm4ps`

8.4 怎样在 LATEX 中使用 EPS 图

EPS 文件能被 LATEX 和 DVI 到 PS 的转换程序使用。

(1) LATEX 通过读取 EPS 文件中的定界盒子行来决定为 EPS 图形保留多大的空间。

(2) DVI 到 PS 的转换程序读取 EPS 文件, 并把它插入到生成的 PS 文件中。

需要说明的几种情形:

- 如果在图形插入命令中给定了定界盒子的值, LATEX 将不会从 EPS 文件读取它的定界盒子行。
- 由于 TEX 不能读取非 ASCII 文件, 也不能生成其他的程序, 所以 LATEX 不能从压缩的 EPS 文件或其他非 EPS 文件中得到定界盒子的信息。在这种情况下, 可以在图形插入命令中给定定界盒子的值或将定界盒子的值放到一个文本文件中(参见第 10.4 节)。
- EPS 图形并没有被加到 DVI 文件中, 它是在从 DVI 到 PS 转换时才被加到生成的 PS 文件中。因此, 所有用到的 EPS 文件必须和 DVI 文件在一起。
- 大多数旧版本的 DVI 浏览器不支持显示 EPS 图形。这时, DVI 浏览器一般会将 EPS 图形的定界盒子用一方框显示出来, 以方便用户对图形进行定位。有一些 DVI 浏览器, 如 Yap, Windvi, Xdvi 等可以借助于 Ghostscript 来显示 EPS 图形。

8.4.1 行缓冲区溢出

LATEX 在读取 ASCII 文件时是每次从中读取一行, 然后把它放到自己的行缓冲区里。LATEX 的行缓冲区大约有 3 000 字节长。如果 EPS 文件中有某一行的长度超过了行缓冲区的长度, 就会产生如下的错误讯息:

```
Unable to read an entire line—bufsize=3000.
```

```
Please ask a wizard to enlarge me.
```

因为 EPS 很少有一行长度超过 3 000 字节的情形, 所以产生行缓冲区溢出的原因可能有两种:

(1) EPS 文件中有一个长的二进制的预览图。

有些应用程序生成的 EPS 文件在开始部分放置了一个二进制的预览图, 这样就使得像 DVI 浏览器等不能显示 PostScript 图形的软件也能显示 EPS 图形。目前已经有少数与 TEX 有关的软件使用这种方法。

如果这个二进制的预览图比行缓冲区小, `\includegraphics` 将会略过它 (像 `\psfig` 等旧的命令则不会这样)。但是, 如果这个二进制的预览图比行缓冲区大的话, 就会发生行缓冲区溢出的错误。有两种解决办法:

- 如果不需要预览图, 可以用文本编辑器将它删掉, 或在生成 EPS 图形时就选择不要预览图。
- 因为 LATEX 读取 EPS 文件的惟一目的就是取得定界盒子的大小, 故可在插图命令中给出定界盒子的值 (如在 `\includegraphics` 中使用 `bb` 选项) 从而使得 LATEX 不再读取 EPS 文件。

(2) EPS 文件中的分行符在不适当的传输中被损坏。

这里所谈到的问题不会在一些最新版本 of TEX 软件中出现, 因为这些软件中的 TEX 都会正确地识别所有的分行符。

不同的操作系统平台使用不同的分行符。UNIX 使用 (^J), Macintosh 使用 (^M), 而 DOS/Windows 则使用 (^M^J)。比如一个 EPS 文件从 Macintosh 机上用二进制方式传输到 UNIX 机上, 那么 UNIX 机上的 TEX 会因找不到分行符 ^J 而把整个文件作为一行, 导致行缓冲区溢出的错误。

如果 EPS 文件中不含有二进制部分 (如预览图和嵌入的图形), 那么用文本方式传输就可以解决这一问题。否则, 由于文件必须用二进制方式传输, 分行符的问题不可避免, 这时就需要用一些工具来转换不同的格式或在插图命令中给出定界盒子的值来解决。

8.5 下载和安装 GhostScript

GhostScript 是一个 PostScript 语言解释器, 它可以运行在大多数操作系统平台上并由 Aladdin Enterprises^② 自由发放。通过 GhostScript 可以在屏幕上显示 PostScript 和 EPS 文件, 也可用非 PostScript 打印机来打印。Aladdin GhostScript 可从如下地址获得:

<ftp://CTAN/support/ghostscript/aladdin/>

也可直接访问 GhostScript 的主页:

<http://www.cs.wisc.edu/~ghost/index.html>

该网页提供了比 CTAN FTP 站点更多的相关信息。

这些站点都提供 Windows/DOS/OS2 和 Macintosh 的可执行文件, 以及 UNIX/VMS 下的源代码。同时, 还能下载 GhostScript 的图形用户界面 (Windows3.1/95/NT/OS2 下的 GSview 和 UNIX/VMS 下的 Ghostview), 这将使我们更容易地浏览和打印 PostScript 文件。

^② 虽然 Aladdin Enterprises 是自由发放的, 但是它不在公共区域内。它是有版权的, 而且是在某种非商业的发放限制之内。当 Aladdin Ghostscript 的版本接近于一年的时间时, Aladdin 将它们作为 “GNU Ghostscript” 释放, 它们的使用由几乎没有限制的 GNU 大众契约管理。

8.6 图像格式转换软件

下面列出的一些免费软件和共享软件，可以用来将非 EPS 格式的图形转换为 EPS 图形。其中一部分提供命令行方式的软件，在用 dvips 将 DVI 转为 PS 的过程中能同时自动转换图形的格式。具体参见第 10.4.3 节。

- ImageMagick 是一个很好的图形转换工具，可从

<ftp://ftp.wizards.dupont.com>

或其他站点下载。参见：

<http://www.imagemagick.org/>

除 UNIX 和 Linux 外，它还可以在 Windows NT，Macintosh 和 VMS 下运行。

- xv 是一个 \$25 的共享的图像浏览和转换软件，运行在 X-Windows 环境下。xv 没有命令行方式，因此无法利用它来实现图形格式的即时转换功能。有关 xv 的信息可参见：

<http://www.sun.com/sunsoft/catlink/xv/note.html>

<http://is.rice.edu/shel/xv-3.10a/>

- DISPLAY 是 DOS 下的免费软件，能够转换多种图像格式。可从下面的地点下载 disp189a.zip 和 disp189b.zip (新的版本可能不是 189)。

<http://www.simtel.net/simtel.net/msdos/graphics-pre.html>

<http://oak.oakland.edu/simtel.net/msdos/graphics-pre.html>

- WMF2EPS 是在 Windows9.5/NT 下运行的将 WMF 格式的图像转为 EPS 格式的免费软件。参考以下文件来取得这一软件。

<CTAN/support/wmf2eps/readme.txt>

它需要你的系统中装有与 Adobe 兼容的打印机驱动。

- KVEC 是一个 \$25 的共享软件，能够将位图格式的图形 (BMP，GIF，TIFF) 等转换为 PostScript 或其他矢量图形。KVEC 可在 Windows，OS/2，NEXT 和 UNIX 下运行。

<http://ourworld.compuserve.com/homepages/kkuhl/>

- NetPBM 是 PBMPLUS 工具包的保留和扩充。它可以在 Windows，UNIX，VMS 和 DOS 等多种平台下运行。

<http://wuarchive.wustl.edu/graphics/graphics/packages/NetPBM/>

- ImageCommander(共享软件，\$19) 是 Windows 3.1/95/NT 下的图形转换软件，可将多种图形格式 (GIF，JPEG，PICT，WMF 等) 转换为 EPS 和其他格式的图形。详细信息见：

<http://www.jasc.com/>

JASC 的 Paint Shop Pro 绘图软件 (共享软件, \$69) 具有同样的图形转换功能。

8.6.1 Level 2 EPS 封装

与传统的 PostScript 不同的是, Level 2 PostScript 支持压缩的二进制图形。这使得它能够制作出比传统的 EPS 更小、质量更好的图形。如果有一台 Level 2 PostScript 打印机, 那么最好是用下面的这些封装程序来替代上节中的那些转换软件。不过由于这样得到的 PostScript 文件只能在 Level 2 PostScript 打印机上打印, 故会降低文件的通用性。

- jpeg2ps 是一个用 C 语言程序编写, 可将 JPEG 图形转换为 Level 2 PostScript 图形的小程序。详细信息见:

<http://www.muc.de/tm/frec/frec.html>

jpeg2ps 可在 UNIX, DOS 和其他操作系统下使用。

- TIFF 图形可用 tiff2ps 转换为 LZW- 编码的 Level 2 PostScript 图形。tiff2ps 的源代码在:

<ftp://ftp.sgi.com/graphics/tiff/tiff-v3.4-tar.gz>

为使 tiff2ps 能在 UNIX, DOS, Mac 和 VMS 下编译成功, 需先使用 tar.z 文件。尽管 LZW PostScript 文件较小, 但是它需要 Level 2 PostScript 打印机。

8.6.2 编辑 PostScript 文件

虽然可直接编辑 EPS 文件 (EPS 是文本文件) 中的 PostScript 命令来改变图形, 但这对一些不熟悉 PostScript 语言的人来说还是很困难的。所幸的是, 借助于下面的一些工具软件, 可以很容易地编辑 EPS 图形。

- pstoeedit 是 UNIX, DOS, Windows 和 OS/2 下的免费软件, pstoeedit 的 C++ 源码可从下面的站点取得。

<ftp://ftp.x.org/contrib/applications/pstoeedit/pstoeedit.html>

<http://www.geocities.com/SiliconValley/Network/1958/pstoeedit/>

借助于 GhostScript, 它能够将 PostScript 或 PDF 图形转为其他矢量格式 (比如 xfig 的 .fig 格式)。

- Mayura Draw (以前称为 PageDraw) 是 Windows 3.1/9.5/NT 下的绘图软件, 参见:

<http://www.wix.com/PageDraw>

当它与 GhostScript 一起使用时, 可以编辑 PostScript 文件。

旧版本的 Mayura Draw 是免费软件, 最近的版本则为 \$15 的共享软件。Mayura Draw 需要用 Adobe Type Manager (ATM) 来在图形上放置文本。虽然 ATM 现在是商业软件, 但是 Adobe 在 Acrobat Reader 2.0 中提供了一个免费版本。可在如下网址得到:

<ftp://ftp.winsite.com/pub/pc/win3/util/acroread.zip>

- xfig 是 UNIX/Xwindows 下功能强大的免费绘图软件，可在如下网址得到：

ftp://ftp.x.org/contrib/applications/drawing_tools/

http://www.cdrom.com/pub/X11/contrib/applications/drawing_tools/

<http://www.xfig.org/>

xfig 能够引入 EPS 图形并加上标记。不过目前还不能改变原始的 EPS 图形。

第 9 章 LATEX 图形宏包

本章详细介绍 LATEX2 ϵ 图形宏包套件中用于引入、缩放和旋转图形的命令。这部分涵盖了 LATEX2 ϵ 图形宏包文档的大部分内容。

9.1 加入 EPS 图像文件

语法: `\includegraphics[选项]{文件名}`

这里的选项在表 9.1 中列出。因为 `includegraphics` 不会结束当前段落，所以它能够在文本中放置图形。如下命令：

```
\documentclass{article}
\usepackage{graphicx}
\begin{document}
  \includegraphics{file.eps}
\end{document}
```

它将以 `file.eps` 的原大图形插入到正文中。

如果加入的图形文件没有指明扩展名，那么 `\includegraphics` 会根据 `DeclareGraphicsExtensions` 的扩展名列表自动为它加上扩展名（参见第 9.3.1 节）。由于默认的扩展名列表不包括空的扩展名，`\includegraphics{file}` 不会读入 `file`。除非空的扩展名已被加到扩展名列表中。

表 9.1 `includegraphics` 选项

选 项	意 义
<code>height</code>	图形的高度（可为任何 TEX 度量单位）
<code>totalheight</code>	图形的总高度，可为任何 TEX 度量单位（6/95 增加）
<code>width</code>	图形的宽度（可为任何 TEX 度量单位）
<code>scale</code>	图形的缩放因子，设定 <code>scale=2</code> 会使插入的图形的大小为其自然大小的两倍
<code>angle</code>	设定旋转的角度，以度为单位，顺时针方向为正
<code>origin</code>	<code>origin</code> 指定图形绕哪一点旋转，默认是图形的参考点（12/95 增加）。初始点有可能与第 9.2.3 节的 <code>\rotatebox</code> 命令中的一样。比如 <code>origin=c</code> 将使图形绕它的中心旋转
<code>bb</code>	设定定界盒子的值。 <code>bb=10 20 100 200</code> 设定定界盒子的左下角在（10， 20），右上角在（100， 200）。因为 <code>includegraphics</code> 会自动从 EPS 文件中读入定界盒子行所给的值，所以一般不使用 <code>bb</code> 这个选项。但它在 EPS 文件中的定界盒子丢失或出错时还是很有用的

(续表)

选 项	意 义
viewpoint	指定图形可以被看到的部分。如同定界盒子一样, 这是一个由四个数字指定的, 左、角和右上角的坐标所确定的区域。这里的坐标是相对于定界盒子的左下角的 (6/95 增加)。例如, 如果图形的定界盒子的值是 50 50 410 302, <code>viewpoint=50 50 122 122</code> 将显示以图形的左下角为左下角的一英寸大小的区域, 而 <code>viewpoint=338 230 410 302</code> 则会显示以图形的右上角为右上角的一英寸大小的区域。必须使用 <code>clip</code> 选项来阻止显示视图以外的图形部分
trim	指定图形可以被看到的部分的另一选项。所给出的四个数字分别代表了从左、下、右、上被截去的值。正数代表从此方向截去的大小, 而负数则代表从此方向加上大小 (6/95 增加) 小
noclip	(默认选项) 显示整个的图形, 即使有些部分在视图之外
clip	当使用 <code>clip</code> 时, 将不显示图形在视图之外的部分
draft	当使用 <code>draft</code> 选项时, 将只显示图形的定界盒子和文件名, 这使得显示和打印文档的速度加快。如果使用 <code>draft</code> 宏包选项, <code>\usepackage[draft]{graphicx}</code> 会导致文档中的所有图形都被以草稿 (<code>draft</code>) 方式插入
final	(默认选项, 除非使用 <code>\usepackage[draft]{graphicx}</code>) <code>final</code> 选项使得图形被显示, 经常用来覆盖 <code>\usepackage[draft]{graphicx}</code>
keepaspectratio	在没有设定 <code>keepaspectratio</code> 选项时, 给定图形的高度 (全部高度) 和宽度允许图形被不对称缩放来满足所设定的高和宽。在设定 <code>keepaspectratio</code> 选项后, 给定图形的高度 (全部高度) 和宽度时, 图形会保持原有的宽高比例, 尽可能使得图形满足所设定的高和宽, 但是图形不会超出其中任何一个 (9/95 增加)

指定宽度命令: `\includegraphics[width=3in]{file.eps}` 将 `file.eps` 插入文档并且它的宽度被缩放到 3 英寸, 高度也会按相应的比例缩放。如果用 `\textwidth` 或 `\cm` 等的函数来指定宽度, 而不是用像 3 英寸这样的固定尺寸, 将会使你的 LATEX 文档更具有通用性。例如:

```
\includegraphics[width=\textwidth]{graphics.eps}
```

它将所插入图形缩放到和文本行的宽度一样宽。而下面的命令:

```
\includegraphics[width=0.80\textwidth]{graphics.eps}
```

使得插入图形的宽度为文本行宽的 80%。当与 `calc` 宏包配合使用时, 下面的命令可使图形的宽度比文本行宽少 2 英寸 (需要 `graphicx 12/95` 或以后的版本):

```
\includegraphics[width=\textwidth-2.0in]{graphics.eps}
```

9.2 旋转和缩放图形对象

除了 `\includegraphics` 命令外, `graphicx` 宏包还提供了另外四个命令用来旋转和缩放任意的 LATEX 对象, 如文本、EPS 图形等。

- `\scalebox{水平缩放因子}{垂直缩放因子}{对象}`
- `\resizebox{宽度}{高度}{对象}`

- `\resizebox*{宽度}{全部高度}{对象}`
- `\rotatebox[选项]{角度}{对象}`

因为 `graphicx` 宏包的 `\includegraphics` 带有支持旋转和缩放的 `angle` 和 `width` 等选项, 所以本节介绍的这几个命令在插图时较少使用。例如:

```
\includegraphics[scale=2]{file.eps}
```

```
\includegraphics[width=4in]{file.eps}
```

```
\includegraphics[angle=45]{file.eps}
```

上述命令和下面的命令得到的结果是相同的。

```
\scalebox{2}{\includegraphics{file.eps}}
```

```
\resizebox{4in}{!}{\includegraphics{file.eps}}
```

```
\rotatebox{45}{\includegraphics{file.eps}}
```

尽管结果相同, 但在实际使用中最好还是用前一种方法, 因为它能更迅速地生成效率更高的 PostScript。

9.2.1 scalebox 命令

语法: `\scalebox{水平缩放因子}[垂直缩放因子]{对象}`

`\scalebox` 命令对其作用的对象进行缩放, 使缩放后的对象的宽度为原始宽度与水平缩放因子之积, 高度为原始高度与垂直缩放因子之积。如果垂直缩放因子没有给出, 那么将按照默认的水平缩放因子, 保持原始宽高的比例进行缩放。如果缩放因子为负值, 则对对象进行缩小。

9.2.2 resizebox 命令

语法: `\resizebox{宽度}{高度}{对象}`

语法: `\resizebox*{宽度}{全部高度}{对象}`

`\resizebox` 命令将对象的大小改变为给定值。如果“宽度”或“高度”中的任一项用“!”给出, 其代表的选项的长度在被改变大小时会保持原有的宽高比例不变。例如:

```
\resizebox{2in}{!}{对象}
```

将对象的宽度改变为 2 英寸。标准的 LATEX2 ϵ 长度 `\height`, `\width`, `\totalheight`, `\depth` 可用来表示对象的原始尺寸。因此, `\resizebox{2in}{\height}{argument}` 使得对象的宽度改变为 2 英寸, 但保持原高度不变。

除了 `\resizebox*` 命令的第二个参数表示对象的全部高度以外, 它与 `\resizebox` 是相同的。

9.2.3 rotatebox 命令

语法: `\rotatebox[选项]{角度}{对象}`

`\rotatebox` 命令将对象旋转一个给定度数的角度, 逆时针方向为正。默认时, 对象绕它的参考点旋转。`\rotatebox` 命令中的选项允许对象绕给定的点来旋转。

- (1) 给定 $[x=xdim, y=ydim]$, 则对象旋转所绕的点相对于参考点的坐标为 $(xdim, ydim)$ 。
- (2) `origin`(原点) 选项指定 12 个特殊点其中之一 (如图 9-1 所示)。

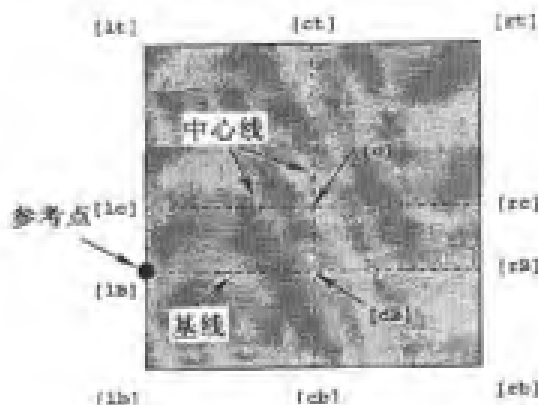


图 9-1 参考点

`origin` 点的水平位置由 `l`, `c`, `r` (分别代表左, 中, 右) 其中之一确定, 垂直位置则由 `t`, `c`, `B`, `b` (分别代表顶部, 中部, 基线, 底部) 中的一个来确定, 例如:

`[rb]` 表示右下角。

`[lt]` 表示左上角。

`[cb]` 表示图形基线的中点。

几点说明:

- 标记的字母与顺序无关, `[br]` 就等于 `[rb]`。
- `[c]` 代表水平位置的中点还是垂直位置的中点由和它一起的标记字母来决定。
- 如果只给出一个标记字母, 那么另一个将被假设为 `[c]`, 即 `[c]` 等于 `[cc]`, `[l]` 等于 `[lc]`, `[t]` 等于 `[ct]` 等。

9.3 高级命令

本节描述了一些在下述情形下使用的 LATEX2 ϵ 图形宏包套件的高级命令。

- (1) 使用没有扩展名的文件名, 例如:

```
\includegraphics{file}
```

- (2) 使用压缩的 EPS 图形文件见第 10.4.1 节。

- (3) 使用非 EPS 格式的图形文件见第 10.4.3 节。

在这些情况下, LATEX 处理由 `\includegraphics` 所引入的文件就需要用 `\DeclareGraphicsRule` 和 `\DeclareGraphicsExtensions` 命令来控制。

- `\DeclareGraphicsExtensions` 命令指定了在没有提供图形文件扩展名的情况下, LATEX 将自动为其加上扩展名列表 (如 `.eps`, `.ps`, `.eps.gz` 等) 中的扩展名。

- `\DeclareGraphicsRule` 命令指定了对图形文件执行的命令。执行这一命令要求操作系统，如 UNIX 支持管道功能，而 DOS 则不行。

若将此命令指定为一解压缩命令，那么就可以使用 EPS 格式的图形文件。若将此命令指定为图形格式转换命令，那么就可以使用非 EPS 格式的图形文件。

9.3.1 `\DeclareGraphicsExtensions` 命令

`\DeclareGraphicsExtensions` 命令告诉 LATEX，若 `\includegraphics` 命令所引入的文件没有提供扩展名，将试图为其自动加上扩展名。为方便起见，在选择图形驱动^③时，就已经有一个相应的预设的扩展名集。举例来说，如果选择 dvips 作为图形驱动，那么默认时会使用下列图形文件扩展名（在 dvips 中定义）：

```
\DeclareGraphicsExtensions{.eps,.ps,.eps.gz,.ps.gz,.eps.Z}
```

这时，`\includegraphics{file}` 让 LATEX 首先寻找 file.eps，其次找 file.ps，接着找 file.eps.gz，直到找到一个文件。相应地，可以在 LATEX 文件中用 `\includegraphics{file}` 取代 `\includegraphics{file.eps}`

这样做的好处是，如果你以后决定压缩 file.eps，也无需更改 LATEX 文件。

说明：

`\includegraphics{file}` 命令不会试图寻找 file，除非空的扩展名 { } 已被加入到扩展名列表中。例如：

```
\DeclareGraphicsExtensions{.eps,.eps.gz,{ }}
```

它试图在没找到 file.eps 和 file.eps.gz 的情况下寻找 file。

不给出扩展名而靠 LATEX 从 `\DeclareGraphicsExtensions` 的扩展名列表中选择正确的扩展名，可能会使存储空间溢出问题更严重（参见第 10.3.3 节）。如果有存储空间问题的话，应当使扩展名列表中的扩展名数目尽可能小。如：

```
\DeclareGraphicsExtensions{.eps,.eps.gz}
```

9.3.2 `\DeclareGraphicsRule` 命令

`\DeclareGraphicsRule` 命令指定 `\includegraphics` 如何按照文件的扩展名来对图形文件进行操作。可以允许有多个 `\DeclareGraphicsRule` 命令。

语法：`\DeclareGraphicsRule{ext}{type}{sizefile}{command}`

例如命令 `\DeclareGraphicsRule{.eps.gz}{eps}{.eps.bb}{gunzip-c#1}` 指定任何以 .eps.gz 为扩展名的文件作为压缩 EPS 文件，该文件的定界盒子信息存放在扩展名为 .eps.bb 的文件中，并用命令 `gunzip-c` 来解压缩（因为 LATEX 不能从压缩文件中读取定界盒子信息，所以定界盒子行必须存放到一个非压缩文件中）。

^③ 指定一个图形驱动选项，如 `\usepackage[dvips]{graphics}` 将会覆盖在 graphics.cfg 中设定的默认驱动选项。

表 9.2 DeclareGraphicsRule 命令的参数

选 项	意 义
ext	文件的扩展名
type	扩展名所对应的图形格式
sizefile	包含图形的定界盒子的文件的扩展名。如果这一选项为空，那么必须要在 <code>\includegraphics</code> 命令中给定 <code>bb</code> 项的值
command	作用于图形文件的命令，此项常为空。命令前必须有一个后向单引号（而不是常使用的前向单引号），目前为止，只有 <code>dvips</code> 能够使用这样的命令。参见第 10.4 节用这样的命令来处理非 EPS 格式图形和压缩 EPS 图形的例子

`\DeclareGraphicsRule` 命令允许使用 `*` 代表任何未知扩展名，例如：

```
\DeclareGraphicsRule{*}{eps}{*}
```

这会导致所有未知扩展名的文件都被认为是 EPS 文件，比如 `file.EPS` 就被当做 EPS 文件。

这里文件名中第一个点号以后的部分都被认为是文件的扩展名，这样做是为了能够正确地识别压缩的 EPS 文件（扩展名为 `.eps.gz`）等。为了避免混淆，文件的基本名中不要使用点号。否则 `file.name.cps.gz` 会让 `\includegraphics` 寻找扩展名为 `.name.eps.gz` 所对应的规则，由于这样的规则很有可能不存在，结果导致使用未知扩展名所对应的规则。例外的情形是该文件的格式正好是默认格式，如未知扩展名的文件都被认为是 EPS 文件时，那么 `file.name.eps` 就能被正确地识别。

为方便起见，根据不同的图形驱动选项^④预定义了不同的默认图形规则。例如使用 `dvips` 图形驱动选项时，默认图形规则为：

```
\DeclareGraphicsRule{.eps}{cps}{.cps}{ }
\DeclareGraphicsRule{.ps}{eps}{.ps}{ }
\DeclareGraphicsRule{.pz}{cps}{.bb}{'gunzip-c #1}
\DeclareGraphicsRule{.eps.Z}{eps}{.eps.bb}{
'gunzip -c \#1}
\DeclareGraphicsRule{.ps.Z}{eps}{.ps.bb}{'gunzip-c #1}
\DeclareGraphicsRule{.eps.gz}{eps}{.eps.bb}{'gunzip-c #1}
\DeclareGraphicsRule{.ps.gz}{cps}{.ps.bb}{'gunzip-c #1}
\DeclareGraphicsRule{.pcx}{bmp}{ }{ }
\DeclareGraphicsRule{.bmp}{bmp}{ }{ }
\DeclareGraphicsRule{.msp}{bmp}{ }{ }
```

④ 指定一个图形驱动选项，如 `\usepackage[dvips]{graphics}` 将会覆盖掉在 `graphics.cfg` 中设定的默认驱动选项

```
\DeclareGraphicsRule{*}{eps}{*}{ }
```

前面两个命令定义扩展名为 .eps 和 .ps 的文件作为 EPS 文件, 它们后面的 5 个命令定义了压缩 EPS 文件的扩展名和解压命令, 接下来的 3 个命令定义了位图文件的扩展名 (参见第 10.4.3 节), 最后一个命令设定未知扩展名的文件为 EPS 文件。

第 10 章 LATEX2 ϵ 图形命令的使用

这一章介绍如何使用 LATEX2 ϵ 图形宏包套件中的命令来引入、缩放和旋转图形。此外还讨论了以下三种情况：

- 在支持管道功能（像 UNIX）的系统中，使用 dvips 可以插入压缩的 EPS 图形或其他格式 (TIFF, GIF, JPEG, PICT 等) 的图形。在其他系统中，非 EPS 格式的图形必须先转换为 EPS。因为无论是 LATEX 还是 dvips 都没有解压缩和转换图像格式的能力，所以使用者需要提供所需的软件。
- 由于许多应用程序支持 ASCII 文本，PSfrag 这一宏包可以将 EPS 图形中的文字替换为 LATEX 符号或数学表达式。
- 当一个 EPS 图形被多次使用时（比如文字后面或页眉的标记），最后生成的 PostScript 文件会包含此 EPS 图形多次。当所使用的图形不是位图格式时，可以通过定义一个 PostScript 命令来避免此图形被重复插入，从而使得到的 PostScript 文件较小。

10.1 图形的放置位置

10.1.1 水平居中

图形的放置位置由当前文本的排列方式所决定。为使图形居中放置，可将其放入一个居中 (center) 环境中。

```
\begin{center}
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
\end{center}
```

如果将 \includegraphics 命令放入一个 minipage 或 figure 环境中，用 \centering 可将其后的内容居中排列。例如：

```
\begin{figure}
  \centering
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
\end{figure}
```

等同于：

```
\begin{figure}
  \begin{center}
```

```

\includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
\end{center}
\end{figure}

```

这里推荐使用命令 `\centering`，因为命令 `\begin{center}` 会使图形上下方的垂直间距增加一倍，即 `figure` 环境带有的间距加上 `center` 环境带有的间距。若希望有特殊的垂直间距，可使用第 11.3.1 节介绍的命令。

`\psfig` 和 `\epsfbox` 命令的缺陷让它们很难使图形居中排列。一种解决办法是用 TEX 的命令 `\centerline` 和 `\leavevmode`。而 `\includegraphics` 命令已克服了这些缺陷，允许直接与 `\centering` 命令一起使用或用在 `center` 环境中，因此就不再需要使用 `\centerline` 和 `\leavevmode` 了。

10.1.2 水平间距

LATEX 在排列图形的时候实际上与排列其他诸如文字对象是一样的，了解这点很重要。举例来说，如果行尾不是以百分号 `%` 结束，LATEX 会自动在两行之间加进一个字符的水平间距。如：

```

Hello
World

```

在输出结果中“Hello”和“World”之间会有一个字符的水平间距。而如下所示的命令：

```

\includegraphics{file.eps}
\includegraphics{file.eps}

```

则在图形之间有一个字符的水平间距。在第一行的行尾加上一个百分号 `%`，如下所示：

```

\includegraphics{file.eps}%
\includegraphics{file.eps}

```

就会使图形之间没有水平间距。如果需要，可用 `\hspace` 命令在图形之间加进指定长度^⑤或用 `\hfill` 加进一个可填充的可能间距的可伸缩长度。例如：

```

\includegraphics{file.eps}\hfill\includegraphics{file.eps}

```

会将两个图形尽量向左右分开。而下面的命令：

```

\hfill\includegraphics{file.eps}%
\hfill\includegraphics{file.eps}\hspace*{\fill}

```

使得图形的两边和中间的间距都相等。由于换行符前的 `\hfill` 命令将被忽略，所以需要命令 `\hspace*{\fill}` 来替代它。

^⑤ 用 `\textwidth` 或 `\em` 等的函数作为 `\hspace` 的参数，而不是采用一个固定度量，可提高文档的通用性。

10.2 旋转、缩放和对齐

因为 `\includegraphics` 的选项是从左到右依次处理的, 所以角度和大小选项的顺序不同会导致不同的结果。如下面的命令:

```
\begin{center}
\includegraphics[angle=90 , totalheight=1cm]{graphics.eps}
\includegraphics[totalheight=1cm , angle=90]{graphics.eps}
\end{center}
```

输出结果如图 10-1 所示。

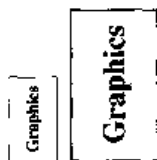


图 10-1 图形旋转、缩放命令顺序不同的效果

第一个命令使图形被旋转 90 度后缩放为 1 厘米高, 而第二个命令则先将图形缩放为 1 厘米高, 然后再旋转 90 度。

10.2.1 高度和总高度的区别

在使用 `height` 选项时要特别小心, 尽管它经常意味着由 `totalheight` 选项给出的总高度 (如图 8-1 所示)。在对象的深度为零时, 对象的总高度就是它的高度, 使用 `height` 选项不会有什么问题。但是, 当对象的深度不为零时, 使用 `height` 而不是 `totalheight` 会导致不正确的图形大小或除以零的错误。对于外部的 EPS 图形, 尤其在旋转和缩放时区分 `height` 和 `totalheight` 显得特别重要。例如:

```
\includegraphics[angle=-45 , totalheight=1in]{file.eps}
\includegraphics[angle=-45 , height=1in]{file.cps}
```

第一个命令缩放一个旋转了的图形, 使其全部高度为 1 英寸。而第二个命令缩放一个旋转了的图形, 使其在参考点以上的部分为 1 英寸高。

10.2.2 旋转图形的缩放

当在插图命令中指定高度或宽度时, 给出的大小并不是图形的大小, 而是图形的定界盒子的大小。这点在图形旋转和缩放时很重要。例如以下的命令:

```
\begin{center}
\includegraphics[totalheight=1in]{rosette.eps}
\includegraphics[angle=45 , totalheight=1in]{rosette.eps}
\end{center}
```

```
\includegraphics[angle=90, totalheight=1in]{rosette.eps}
\end{center}
```

会得到图 10-2。



图 10-2 旋转图形大小变化过程

尽管看上去图形的大小不一, 有点奇怪, 但在看过它们的定界盒子 (如图 10-3 所示) 后就会明白了。

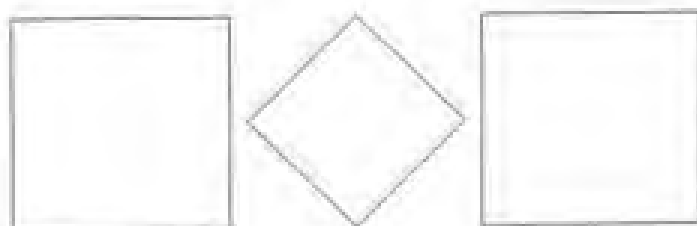


图 10-3 旋转图形的定界盒子大小变化过程

从上面可以看出, 每个图形的定界盒子都被缩放到 1 英寸。

10.2.3 旋转图形的对齐

当图形被旋转时, 可能会出现不对齐的情况。例如下面的命令:

```
\begin{center}
\includegraphics[totalheight=1in]{rosette.eps}
\includegraphics[totalheight=1in, angle=-45]{rosette.eps}
\includegraphics[totalheight=1in, angle=-90]{rosette.eps}
\end{center}
```

可以得到图 10-4。

下面仍可用图形的定界盒子来说明问题 (图 10-5)。

在这种情况下, 我们可以看到图形对象的参考点 (左下角) 是处于一条水平线上的, 如果希望中间对齐, 那么可以用 `\includegraphics` 的 `origin` 选项。请看下面的命令:

```
\begin{center}
```

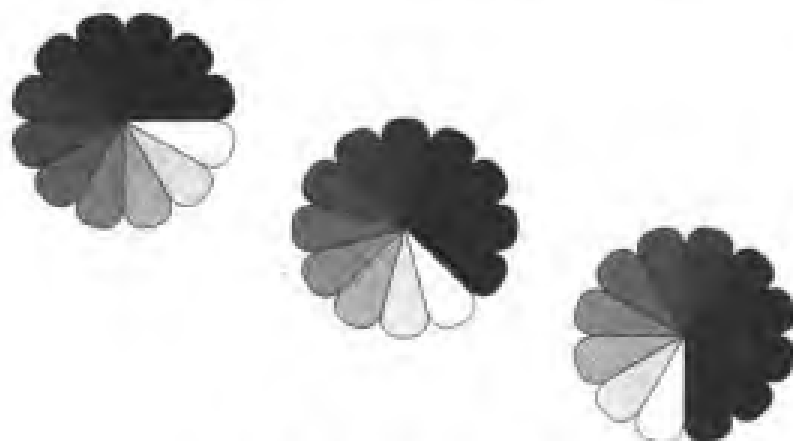


图 10-4 旋转图形不对齐情形

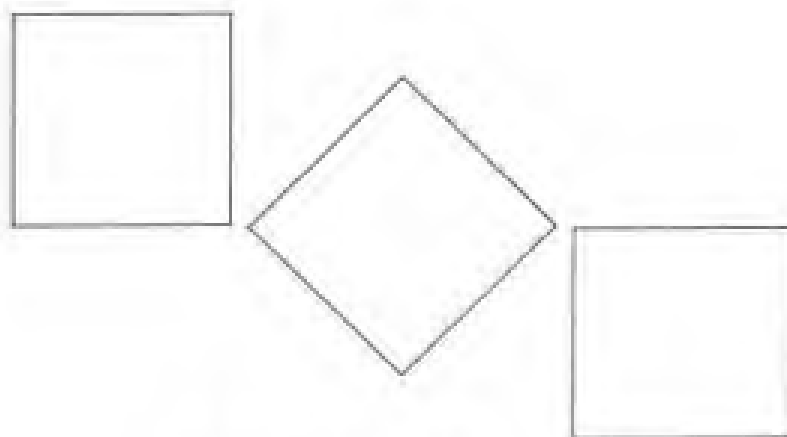


图 10-5 图形的定界盒子变化情况

```

\includegraphics[totalheight=1in]{rosette.eps}
\includegraphics[totalheight=1in ,   origin=c ,   angle=-45]{rosette.eps}
\includegraphics[totalheight=1in ,   origin=c ,   angle=-90]{rosette.eps}
\end{center}

```

这次所有图形都是中间对齐的, 如图 10-6 所示。

同样地, 下面的命令:

```

\begin{center}
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\hspace{1in}
\includegraphics[width=1in,angle=-90]{graphics.eps}
\end{center}

```

会将右边的图形绕它的左下角旋转, 得到如图 10-7 所示的结果。

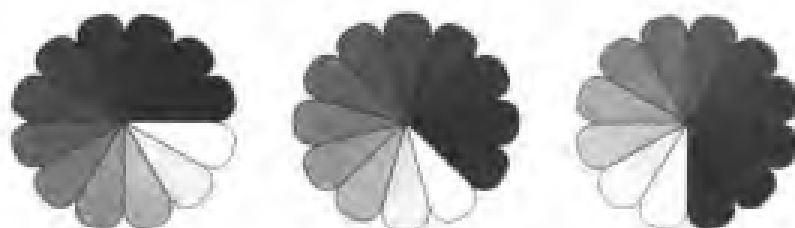


图 10-6 图形中间对齐情形

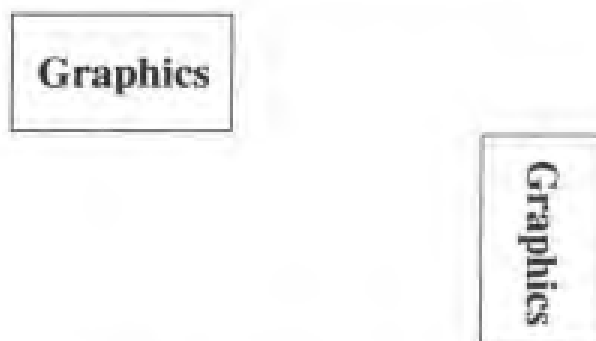


图 10-7 图形绕左下角旋转情形

要想使图形的底部对齐，应使用下面的命令：

```
\begin{center}
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\hspace{1in}
\includegraphics[width=1in,origin=br,angle=-90]{graphics.eps}
\end{center}
```

上述命令让右边的图形绕它的右下角旋转，得到如图 10-8 所示的结果。



图 10-8 图形绕右下角旋转情形

10.2.4 小页环境的垂直对齐

将图形放置于小页环境中是经常遇到的情况，而且也十分有用（参见第 11.12 节）。当

小页并列时, LATEX 会将它们的参考点垂直对齐排列。默认时, 小页的参考点是它的左边界的中点。可用一个可选参数项来改变小页的参考点的位置。

[b] 使小页的参考点与小页底边的参考点对齐。

[t] 使小页的参考点与小页顶边的参考点对齐。

注意选项 [b] 不会将参考点置于小页的底部 (除非其底边的参考点在它的底部)。同样, 选项 [t] 不会将参考点置于小页的顶部 (除非其顶边的参考点在它的顶部)。

当小页中只有一行时, [b] 和 [t] 选项得到的结果一样。如下面的命令所示。

```
\begin{center}
\begin{minipage}[b]{.25\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\end{minipage}
\begin{minipage}[b]{.25\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=1in,angle=-90]{graphics.eps}
\end{minipage}
\end{center}
```

和

```
\begin{center}
\begin{minipage}[t]{.25\textwidth} \centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\end{minipage}
\begin{minipage}[t]{.25\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=1in,angle=-90]{graphics.eps}
\end{minipage}
\end{center}
```

两者都得到如图 10-9 所示的结果。在这两种情况下, 小页的参考点都是 EPS 图形的参考点 (左下角)。

10.2.4.1. 小页的底部对齐

让小页的底部对齐的一种方法是使小页的底部成为其基线。在图形后面将命令 `\par\vspace{0pt}` 加到小页中, 那么 [b] 选项就可使小页的底部作为其基线, 这时的基线就是小页的底部, 选项 [b] 将使小页的底部对齐。例如下面的程序:

```
\begin{center}
\begin{minipage}[b]{.25\textwidth}
```

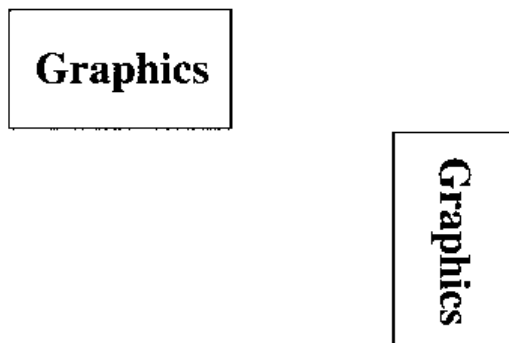


图 10-9 在小页使用选项 [b] 或 [t] 的结果

```

\centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\par\vspace{0pt}
\end{minipage}
\begin{minipage}[b]{.25\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=1in,angle=-90]{graphics.eps}
\par\vspace{0pt}
\end{minipage}
\end{center}

```

其输出的结果如图 10-10 所示。



图 10-10 在小页环境中图形底部对齐

10.2.4.2 小页的顶部对齐

为使小页的顶部对齐，必须在小页的开始加入一条高度和深度都为零的线段，接着用 [t] 选项使得小页的基线成为它的顶部。在 `\includegraphics` 前使用 `\vspace{0pt}` 命令加入这条高度和深度都为零的线段。由于这条线段的基线为小页顶部，所以这时 [t] 选项可使得小页的顶部对齐。如下面的程序：

```

\begin{center}
\begin{minipage}[t]{.25\textwidth}
\vspace{0pt}

```

```

\centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\end{minipage}%
\begin{minipage}[t]{.25\textwidth}
\vspace{0pt}
\centering
\includegraphics[width=1in,angle=-90]{graphics.eps}
\end{minipage}
\end{center}

```

其输出的结果如图 10-11 所示。



图 10-11 在小页环境中图形顶部对齐

这里小页的顶部是和当前基线对齐的。如果要求小页的顶部和当前文本行的顶部对齐，用 `\vspace{--\baselineskip}` 来代替 `\vspace{0pt}` 即可。

10.3 使用子目录

当需要大量的图形文件时，我们希望将它们存放到一个子目录下。例如放到子目录 `sub` 下，这时试图用如下命令插入图形 `file.eps`。

```
\includegraphicssub/file.eps}
```

尽管这种用法在大多数 UNIX 和 DOS 下的 TEX 里能工作正常，它却有以下的问题：

- 效率不高。每当 TEX 打开一个文件，该文件名就被存入 TEX 的内存中。当打开大量的文件时，因为给出子目录名增加了文件名的长度，这种内存的占用就容易导致溢出错误（参见第 10.3.3 节）。
- 通用性差。LATEX 的一大优势就是它的文件能在任何操作系统平台上使用。然而，在文件名中包括子目录名会使文件依赖于操作系统。如果不做明显的改变，上面的例子就无法在 VMS 或 Macintosh 上使用。

对于图形文件存于子目录下的情形，有两种办法：

- 最好的方法是将子目录加到 TEX 搜索路径中（参见第 10.3.1 节）。
- 用 `\graphicspath` 命令来指明所用的子目录（参见第 10.3.2 节）。不过，这比前一种方法的效率要低。

上述两种方法都将使命令 `\includegraphics` 自动搜索图形子目录, 故可在文件中使用命令 `\includegraphics{file.eps}` 来替代 `\includegraphics{images/file.eps}`。

10.3.1 TEX 搜索路径

因为不同的 TEX 软件设置搜索路径的方法不完全一样, 所以很难提供一个普遍适用的范例。本节所用的例子是基于 UNIX 下的 web2c/teTEX。其他版本的 TEX 也大致采用相似的策略。

对 UNIX 下的 web2c/teTEX 而言, 可通过设置环境变量 `TEXINPUTS` 改变 TEX 的搜索路径。如使用 `csh` 脚本:

```
setenv TEXINPUTS /dir1:/dir2:
```

会使 TEX 在搜索默认的目录前先搜索 `/dir1` 和 `/dir2`。如果省掉最后的冒号 “:”, 那么在搜索完 `/dir1` 和 `/dir2` 后 TEX 将不再搜索默认的目录。如果按如下设置:

```
setenv TEXINPUTS :/dir1:/dir2
```

则使 TEX 在搜索默认的目录后再搜索 `/dir1` 和 `/dir2`。而下面的设置:

```
setenv TEXINPUTS /dir1::/dir2
```

则使 TEX 在搜索 `/dir1` 后接下来搜索默认的目录, 最后再搜索 `/dir2`。

在一个目录后面加上双斜杠 “//”, 会使得此目录下的所有子目录都将被搜索。例如:

```
TEXINPUTS /dir1//:/dir2:
```

这会使 TEX 搜索 `/dir1` 的所有子目录。使用双斜杠 “//” 要小心, 如果一个目录下的文件和子目录特别多的话, 则会使 TEX 的搜索速度变得很慢。

使用 `sh` 脚本, 可用以下命令:

```
TEXINPUTS="/dir1:/dir2:"; export TEXINPUTS
```

来设置环境变量 `TEXINPUTS`。

当 LATEX 在 TEX 搜索路径中找到文件时, 并不将目录名也写到 DVI 文件中。因此, 旧版本的 `dvips` 和 `xdvi` 由于不会搜索 TEX 的搜索路径, 可能会找不到该文件 (参见第 10.4.2 节)。

10.3.2 图形文件搜索路径

默认时, LATEX 在 TEX 搜索路径中寻找图形文件。除此之外, LATEX 还会搜索由 `\graphicspath` 给出的目录。例如命令:

```
\graphicspath{{dir1/}{dir2/}}
```

会告诉 LATEX 也从目录 `dir1/` 和 `dir2/` 下寻找图形文件。对 Macintosh 操作系统来说,

上面的命令应改为如下形式:

```
\graphicspath{{dir1:}{dir2:}}
```

很重要的一点是, 由 `\graphicspath` 给出的目录搜索比由 `TEXINPUTS` 给出的目录搜索要慢得多。进一步说, 由 `\graphicspath` 给出的目录搜索要占用一定的存储空间 (参见第 10.3.3 节)。

鉴于 `\graphicspath` 效率不高, 所以不推荐使用这一命令, 最好的办法就是将要使用的目录加到 TEX 的搜索路径中去 (参见第 10.3.1 节)。

10.3.3 节约存储空间

TEX 为其内部的字符串的传递保留了一部分内存空间, 称为存储空间 (pool space)。每当 TEX 打开或试图打开一个文件时, 就会有一部分存储空间被永久性分配。当打开一个很大的文件时, 这种内存的丢失会导致 TEX 耗光它的存储空间, 并产生如下的错误信息:

```
! TeX capacity exceeded, sorry [poolsize=72288]
```

因为已分配的存储空间是文件名长度的函数, 所以若其中带有子目录名, 则会使存储空间的溢出问题更加恶化。

除了最新版的基于 web2c 的 TEX 软件和一些商业软件外, 增加存储空间的惟一办法就是重新编译 TEX。所幸的是, 通常用下面这些节约存储空间的办法就可以解决问题。

- 避免用过长的文件名。
- 不要把子目录名包括进来。

```
\includegraphics{images/file.eps}
```

取而代之的是将子目录加到 TEX 搜索路径中, 或不要把图形文件放在子目录下。

- 不要使用 `\graphicspath` 命令。

```
\graphicspath{{dir1/}{dir2/}}
```

...

```
\includegraphics{file.eps}
```

将使 `\includegraphics` 命令试图打开下列文件:

```
file.eps
```

```
dir1/file.eps
```

```
dir2/file.eps
```

每次打开文件的尝试都会消耗存储空间, 故应该用更改 TEX 搜索路径的办法来替代使用命令 `\graphicspath`。

- 给出全部的文件名, 不要省略文件的扩展名 (特别像 `.eps` 这样的扩展名)。在默认的 `\DeclareGraphicsExtensions` 定义下, 下述命令:

```
\includegraphics{file}
```

将使 `\includegraphics` 命令试图打开下列文件:

`file.eps`

`file.ps`

`file.eps.gz`

`file.ps.gz`

`file.eps.Z`

若再加上使用 `\graphicspath` 命令, 则会导致效率极低。最好将命令 `\DeclareGraphicsExtensions` 中定义的扩展名压缩到最小, 这样在使用省略扩展名的文件时会好些。

10.4 压缩图形文件和非 EPS 文件的使用

当使用 dvips 时, 使用者可定义一个命令来在插入图形文件之前对它进行操作。这样, 如果设定此命令为一解压缩命令, 就可以使用压缩的图形文件。如果设定此命令为一图形格式转换命令, 就可以使用非 EPS 图形文件。考虑到目前为止 DVI 到 PS 的转换程序中, 只有 dvips 具有这种功能, 本节所介绍的内容都需要 dvips 的支持。使用者需要在使用 graphicx 宏包时设定使用 dvips 选项。这可以通过在 `\documentclass` 命令中进行全局设定, 如下所示:

```
\documentclass[dvips,11pt]{article}
```

或者在 `\usepackage` 中设定 graphicx 使用 dvips 选项, 如下所示:

```
\usepackage[dvips]{graphicx}
```

推荐使用第一种方法, 因为它将 dvips 这一选项传递给所有的宏包。

当使用一个支持管道^⑥的操作系统时, `\DeclareGraphicsRule` 命令 (参见第 9.3.2 节) 定义一个对文件进行操作的命令。若为解压缩命令, 则可允许使用压缩的图形文件。若为图形格式转换命令, 则可允许使用非 EPS 图形文件。当使用不支持管道的操作系统时, 这种即时转换的命令是不允许的, 这时只好将所有的图形文件都存为非压缩的 EPS 格式。

10.4.1 压缩 EPS 文件的例子

使用压缩 EPS 文件的步骤是:

- (1) 创建一个 EPS 文件 (比如说 `file.eps`)。
- (2) 将它的定界盒子放到另外一文件中 (`file.eps.bb`)。
- (3) 压缩 EPS 文件, 如使用 UNIX 命令:

```
\gzip -9 file.eps
```

得到压缩文件 `file.eps.gz`。这里 `-9` (或者 `-best`) 选项表示最佳压缩。

^⑥ 例如, UNIX 支持管道而 DOS 则不支持。

(4) 在 `\includegraphics` 前说明适当的 `\DeclareGraphicsRule` 命令, 使得 LATEX 知道如何处理特殊后缀的文件 (参见第 9.3.2 节)。例如:

```
\documentclass[dvips]{article}
\usepackage{graphicx}
\begin{document}
\DeclareGraphicsRule{.eps.gz}{eps}{.eps.bb}{'gunzip-c#1}
\begin{figure}
\centering
\includegraphics[width=3in]{file1.eps.gz}
\caption{Compressed EPS Graphic}
\label{fig:compressed:eps}
\end{figure}
\end{document}
```

在这个例子里, `\DeclareGraphicsRule` 实际上可以省略, 因为在 `dvips.def` 中已经定义过了。如果使用另一个解压缩程序或文件名后缀, 那么 `\DeclareGraphicsRule` 是不能少的。例如定界盒子存放到文件 `file1.bb` 中, 则相应的命令 `\DeclareGraphicsRule` 应为如下形式:

```
\DeclareGraphicsRule{.eps.gz}{eps}{.bb}{'gunzip -c#1}
```

10.4.2 TEX 搜索路径和 dvips

当 LATEX 遇上一条 `\includegraphics` 命令时, 首先在当前目录下搜寻图形文件。如果找不到所需的文件, LATEX 将按照 TEX 搜索路径来寻找。当 DVI 文件转为 PS 文件时, `dvips` 也是按同样的顺序来搜寻图形文件的。这不会有什么问题。然而, 如果用 `\DeclareGraphicsRule` 定义了一个即时转换的命令, 那么此命令将会阻止 `dvips` 在 TEX 搜索路径中寻找图形文件。

例如:

```
\DeclareGraphicsRule{.eps.gz}{eps}{.eps.bb}{'gunzip -c#1}
```

指定对后缀为 `.eps.gz` 的文件使用命令 `gunzip-c`。假设用下面的命令来插入图形文件,

```
\includegraphics{file.eps.gz}
```

那么如果 `file.eps.gz` 和 `file.eps.bb` 文件在当前目录下, 一切都会很顺利。LATEX 使用 `file.eps.bb` 文件而 `dvips` 使用 `gunzip-c file.eps.gz` 文件来解压缩图形文件。

但是, 如果 `file.eps.gz` 和 `file.eps.bb` 文件不在当前目录下, 而是在目录 `/a/b/c/` 下 (假设该目录已加到 TEX 搜索路径中), LATEX 仍然能够找到 `/a/b/c/file.eps.bb` 文件, 但 `dvips` 在执行 `gunzip-c file.eps.gz` 文件时就会出问题。因为 `gunzip` 找不到 `file.eps.gz` 文

件。假如你的 TEX 软件使用了 kpathsea 库 (比如 teTeX), 这个问题可通过定义下面的图形规则来解决。

```
\DeclareGraphicsRule{.eps.gz}{eps}{.eps.bb}%
    {'gunzip -c 'kpsewhich -n latex tex #1'}
```

这里使用 kpsewhich 来为 gunzip 寻找文件。'kpsewhich -n latex tex #1' 使得 dvips 在 TEX 搜索路径中寻找压缩图形文件, 然后把文件的全名 (包括目录名) 附加到 gunzip -c 命令后, 使得即使压缩图形文件不在当前目录下, gunzip 也可对其进行操作。

虽然上面给出的新的 \DeclareGraphicsRule 命令可以放在文档的开头, 但是最好的用法是把它加到 graphics.cfg 文件中:

```
\AtEndOfPackage{%
\DeclareGraphicsRule{.eps.gz}{eps}{.eps.bb}%
    {'gunzip -c 'kpsewhich -n latex tex #1'}}
```

并且保留 \ExecuteOptions{dvips} 这一行。

因为旧版本的 dvips 不会搜索 TEX 搜索路径, dvips 无法找到位于 TEX 搜索路径中的文件, 下面的命令利用 kpsewhich 为 dvips 搜索位于 TEX 搜索路径中的非压缩的 EPS 文件:

```
\DeclareGraphicsRule{.eps}{eps}{.cps}{'cat 'kpsewhich -n latex tex #1'}
```

当然最好的解决办法是升级你的 TEX 版本。

10.4.3 非 EPS 图形文件

EPS 格式的图形文件可以很容易地插入到 LATEX 文件中, 而非 EPS 格式的图形文件 (如 GIF, TIFF, JPEG, PICT 等) 则不是将插图命令中的文件名替换一下就可以的。对于不同的图形驱动来说, 所支持的图形格式也不尽相同。而不同版本的 TEX 软件也有各自支持的非 EPS 格式图形。

一般来说, 除了 .png 格式的图形文件外, 其他的非 EPS 格式图形基本上只有一两种图形驱动支持直接使用它们。

一般情况, 下非 EPS 格式的图形需要先转换为 EPS 格式的图形文件, 再插入到 LATEX 文件中 (参见第 8.6 节)。

尽管使用非 EPS 格式的图形文件不如 EPS 图形文件简单方便, 但由于它们可能比 EPS 文件要小, 而一些绘图软件也不能生成 EPS 文件, 所以有时还是希望在 DVI 文件转换为 PS 文件时再对其进行格式转换。如果使用 dvips, 这种即时转换的命令可用 \DeclareGraphicsRule 来给出。例如用这种方法将 file2.gif 文件加到 LATEX 文档中, 需要以下几步。

- (1) 找到一个支持 GIF 到 EPS 的转换工具 (假设为 gif2eps)。
- (2) 建立一个注明 file2.gif 自然大小的定界盒子文件。为此:

- 用 ebb file2.gif 直接得到定界盒子文件^⑦。

^⑦ ebb 是 dvipdfm 中的一个用来计算非 EPS 图形文件的定界盒子应用程序。

- 将 file2.gif 转为 PostScript 文件，若其中有定界盒子行，则将此行存放到文件 file2.gif.bb 中；否则，可按照第 8.3.2 节的方法来计算定界盒子，并将所得到的结果放在 file2.gif.bb 中的 %%BoundingBox: 后，然后将 PostScript 文件删除。

(3) LATEX 文件中，在 \includegraphics 命令前，加入图形规则：

```
\DeclareGraphicsRule{.gif}{eps}{.gif.bb}{'gif2eps#1}
```

当遇到 \includegraphics{file.gif} 时，LATEX 从 file.gif.bb 中读取定界盒子，并告诉 dvips 使用 gif2.eps 来将 file2.gif 转为 EPS 文件。

10.4.3.1 GIF 的例子

由于插入非 EPS 格式的图形所需的命令依赖于操作系统和图形格式转换程序，则在此提供两个 UNIX 系统下常用的转换程序的例子。

```
\DeclareGraphicsRule{.gif}{eps}{.gif.bb}{'convert #1 'eps:-'}
\begin{figure}
  \centering
  \includegraphics[width=3in]{file2.gif}
  \caption{GIF Graphic}
\end{figure}
```

这里使用 convert (包含在 ImageMagick 中) 来将 GIF 转为 EPS。而命令：

```
\convert file2.gif 'eps:-'
```

其作用是将 file2.gif 文件转为 EPS 格式的图形，并进行标准输出。

另一种方法是使用 giftoppm，ppmtopgm 和 pgmtops 来将 GIF 转为 EPS。只需在上例中将图形规则改为以下形式：

```
\DeclareGraphicsRule{.gif}{eps}{.gif.bb}
  {'giftoppm #1 ppmtopgm pgmtops}
```

10.4.3.2 对非 EPS 图形的直接支持

虽然 LATEX 和 dvips 不断地被要求直接支持非 EPS 图形，并要像支持 EPS 图形一样简单方便，的确，这样做会带来不少方便，但却存在着下面的问题。

- 因为 LATEX 通过从 EPS 文件中读取定界盒子来确定图形文件的大小，加上 LATEX 只能读取 ASCII 文件，所以其他的非 EPS 图形文件（绝大多数是二进制文件）会影响 LATEX 获取图形大小的信息。
- 进一步讲，支持非 EPS 图形要求 dvips 具有图形格式转换的能力（GIF-to-PS，TIFF-to-PS 等）。这需要大量的编程和维护工作。

鉴于此，dvips 提供调用外部图形转换程序的机制，而不是直接支持非 EPS 图形文件。这种机制允许 LATEX 通过设置 \DeclareGraphicsRule 命令来使 dvips 调用指定的外部图

形转换程序。这样使用者可自己选择图形转换程序, dvips 也不用捆绑一些图形转换功能, 从而比直接支持非 EPS 图形文件更具灵活性。

尽管 LATEX 和 dvips 一般不支持直接插入非 EPS 的图形, 也还是有几个如下所述的例外:

(1) 如果 dvips 编译时用了参数 `-Demptex`, 它将支持一些 EmTEX 的 `\special` 命令, 允许直接插入 PCX, BMP 或 MSP 位图。

(2) 在 Macintosh 下的共享 TEX/LATEX 软件 Oztex2.1 中, DVI 文件到 PS 文件的转换程序 OzDVIPS 允许通过 `\special` 命令来使用 MacPaint 和 PICT 文件。详见以下网址:

<http://www.kagi.com/authors/akt/oztex.html>

(3) 一些商业版本的 LATEX 支持非 EPS 的图形。例如:

- Macintosh 下的 Textures 支持 PICT 图形。详见以下网址说明:

<http://www.bluesky.com>

- Y&Y 的 Windows 版本的 TEX 中, DVI 到 PS 的转换程序 DVIPSONE 支持 TIFF 图形。详见以下网址说明:

<http://www.YandY.com/>

即使在上述方法中, TEX 仍然无法直接从二进制的图形文件中获得其图形的大小。为使 LATEX 能正确地给所插入的图形分配空间, 使用者必须用 `.bb` 文件或在 `\includegraphics` 中用 `bb` 选项给出图形的大小。

10.5 PSfrag 宏包

目前大多数绘图和分析软件都可以输出 EPS 格式的图形, 但是大都不能像 LATEX 一样支持符号和公式。PSfrag 宏包允许用 LATEX 的文本和公式来替代 EPS 图形文件中的字符。

PSfrag 3.0 是 1996 年发布的正式版本, 几乎被完全重新写过。以前的版本则需要借助预处理程序 (ps2frag 或 ps2psfrag) 来识别和记录 EPS 图形文件中的文本。而 PSfrag 3.0 不需要借助预处理程序, 也不需要像 perl 或 ghostscript 等外部程序。PSfrag 3.0 只需要较新的 LATEX 版本 (12/95 或以后) 和 LATEX 图形宏包套件。

新版 PSfrag 3.0 的另一优势是支持压缩的 EPS 图形。不过, `\tex` 命令 (参见第 10.5.3 节) 不能被用来在压缩的 EPS 图形中嵌入 LATEX 文本。

为使用 PSfrag, 应首先生成一个 EPS 图形文件, 然后按照以下步骤操作:

(1) 在 LATEX 文档的导言区中加入: `\usepackage{psfrag}`。

(2) 在 LATEX 文档中, 使用 `\psfrag` 命令来指明哪些 EPS 图形中的文本将被什么样的 LATEX 文本所替代。这些替换会在同一环境下后面的任何 `\includegraphics` 命令中执行。

(3) 像通常一样使用 `\includegraphics`

命令 `\psfrag` 的用法如下所示:

```
\psfrag{PStext}[posn][PSposn][scale][rot]{text}
```

上面命令中的参数的说明见表 10.1。

表 10.1 PSfrag 选项

选 项	意 义
PStext	EPS 图形中被替换的文本
posn	(可选项, 默认为 [Bl]) 放置点相对于 LATEX 文本的参考位置
PSposn	(可选项, 默认为 [Bl]) 放置点相对于现存的 EPS 文本的参考位置
scale	(可选项, 默认为 1.) LATEX 文本的缩放因子。为得到最好的效果, 建议不使用这一选项, 而使用 LATEX 的字号命令如 <code>\small</code> 和 <code>\large</code> 等
rot	(可选项, 默认为 0) 当给出一个角度时, 此角度即为新的 LATEX 文本相对于旧的 EPS 图形中文本的角度。它以度为单位并且从逆时针方向为正。此选项由对处理那些只允许水平方向的文本的应用软件生成的 EPS 图形时特别有用
text	用来替换旧的 EPS 图形中文本的 LATEX 文本。如同通常的 LATEX 文本, 数学公式必须放在 <code>\$</code> 符号对中间。如: <code>\$\$\frac{1}{2}\$\$</code> 或 <code>\$x^2\$</code>

选项 `posn` 和 `PSposn` 可为如图 9-1 所示的 12 个点中的一个。如果没有给出, 则默认为 [Bl]。空的选项则设定为 c (如 `[]` 就等于 `[c]`, `[l]` 就等于 `[lc]`)。

注意 `\psfrag` 只匹配整个字符串, 如下面的命令:

```
\psfrag{pi}{{$\pi$}}
```

用 π 替换 `pi`, 但却不会替换 EPS 文件中的其他像 `pi/2` 或 `2pi` 这样的字符串。对于这样的字符串必须分别使用 `\pafraq` 命令。

如果所替换 EPS 中字符串不是完整地置于一个 PS 命令中, `PSfrag` 将不起作用。在一些应用软件生成的 EPS 图形中, 为达到特殊的字符间距, 将一字符串分隔为几个子串或单个的字符。例如, `CorclDraw` 用如下的 EPS 代码来放置字符串 “Hello World”:

```
0 0 (Hello W) @t
```

```
1080 0 (orld) @t
```

由于 `PSfrag` 把它看成是两个不相干的字符串——“Hello W”和“orld”, 所以任何对 “Hello World” 的替换都不起作用。如果不能在应用软件中取消这种对字符间距的处理, 使用 Courier 或其他单一间距的字号一般可防止这种情况。如果确实无法避免这种情况, 那么只能对单个字符进行替换。

10.5.1 PSfrag 使用例一

执行下述命令:

```
\includegraphics{pend.eps}
```

只是插入 EPS 图形而没有任何 PSfrag 替换, 如图 10-12 所示。而下面的命令:

```
\psfrag{q1}{ $\theta_1$ }
\psfrag{q2}{ $\theta_2$ }
\psfrag{L1}{ $L_1$ }
\psfrag{L2}{ $L_2$ }
\psfrag{P1}[ ]{\mathcal{P}_1}
\psfrag{P2}[ ]{\large \mathcal{P}_2}
\includegraphics{pend.eps}
```

则插入 EPS 图形, 并使用 PSfrag 对 EPS 图形中的字符串进行替换, 如图 10-13 所示。前面 4 个 `\psfrag` 命令中, 新的 LATEX 字符串的左基线点对应于旧的 EPS 字符串的左基线点, 后面两个 `\psfrag` 命令中使用选项 “[] ” 选项使得新的 LATEX 字符串的中心对应于旧的 EPS 字符串的中心。注意并不是所有的 EPS 字符串都被替换了, 如图 10-13 所示, N 就没有被替换。

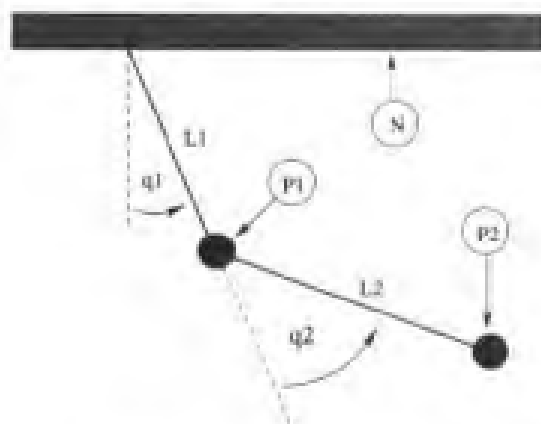


图 10-12 没有 PSfrag 替换

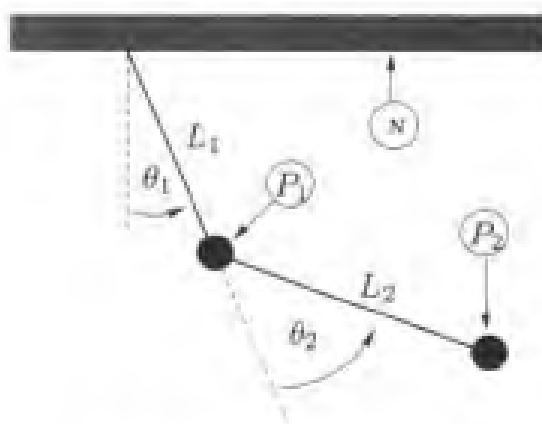


图 10-13 具有 PSfrag 替换

10.5.2 Psfrag 使用例二

这个例子演示了 `\shortstack`, `\colorbox` 和 `\fcolorbox` 等命令如何与 `\psfrag` 一起使用。

- 命令 `\shortstack` 允许将文本竖直放置, 每行用双斜杠 “`\\`” 分开。可用来使用多行文本替换 EPS 图中的一行文本。
- 命令 `\colorbox` 是 `color` 宏包所提供的一个命令, 它在所作用的对象背后放置一长方形的彩色区域作为背景。此背景超出对象的部分的大小将由长度 `\fboxsep` 控制。例

如:

```
\colorbox{white}{Text}
```

在 Text 后放置了一个长方形的白色背景。

在使用 PSfrag 时, \colorbox 常常用来放置那些由于线条或阴影而被遮挡的文本, 通过将这些文本的背景色设为白色, 防止它们被图形所遮挡。

- 命令 \fcolorbox(也由 color 宏包所提供) 与 \colorbox 类似, 它为背景加上一个边框。如以下命令:

```
\fcolorbox{black}{white}{Text}
```

在 Text 后放置了一长方形的带有黑色边框的白色背景。

这里边框的宽度由 \fboxrule 控制, 边框和对象之间的间隔大小则由 \fboxsep 控制。

图 10-14 和图 10-15 显示了这些命令与 PSfrag 配合使用的效果。图 10-14 是没有使用 PSfrag 的原始图形, 而图 10-15 则是使用如下命令的结果。

```
\psfrag{q1}[l][l]{\colorbox{white}{ $q_1$ }}
\psfrag{base}{\fcolorbox{black}{white}{Base}}
\psfrag{Actuator}[l][l]{\shortstack{Hydraulic\\Actuator}}
\includegraphics{mass.eps}
```

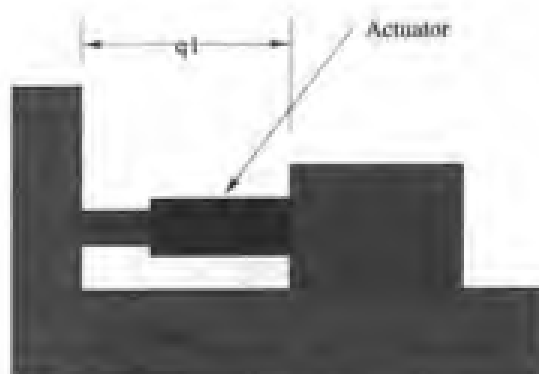


图 10-14 没有 PSfrag 替换

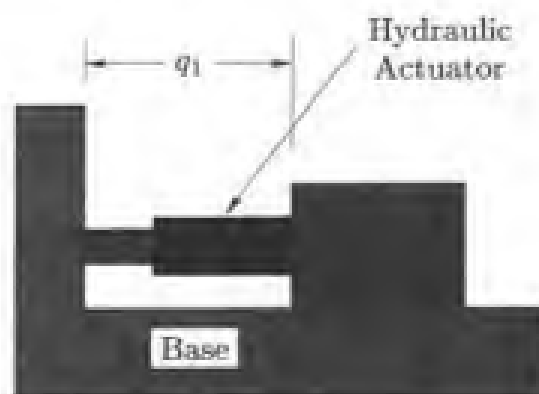


图 10-15 具有 PSfrag 替换

10.5.3 EPS 图形中的 LATEX 文本

在使用 PSfrag 宏包时, \psfrag 命令是最常使用也是推荐使用的。它的具体用法已在前面几节中介绍过了。此外, PSfrag 宏包还提供 \tex 来直接将 LATEX 文本嵌入到 EPS 中。不过, 它的效率要比 \psfrag 低。

10.5.4 图形和文本的缩放

如果缩放一幅使用了 PSfrag 的图形, 那么 PSfrag 所替换的文本也相应地被缩放。因此, 使用 graphicx 包时的一些细节有可能影响到这些文本的大小。

- 当使用 `width` , `height` 或 `totalheight` 来指定图形的大小时, 如:

```
\includegraphics[width=3in]{file.eps}
```

这时 PSfrag 所替换的文本在 `file.eps` 被缩放到 3 英寸后才加入。相反, 以下命令:

```
\resizebox{3in}{!}{\includegraphics{file.eps}}
```

则是将图形 `file.eps` 以它的自然大小插入, 进行 PSfrag 替换, 然后再将图形和所替换的文本一起缩放到 3 英寸。

- 类似地, 当缩放选项在旋转选项之前时, 如以下命令:

```
\includegraphics[width=3in,angle=30]{file.eps}
```

缩放选项会得到预期的效果。然而, 当它在旋转选项之后时, 即命令是如下形式时:

```
\includegraphics[angle=30,width=3in]{file.eps}
```

图形 `file.eps` 会先以其自然大小插入, 然后被旋转, 接着被缩放到 3 英寸。因为 PSfrag 的替换是在图形被插入时发生的, 所以第二个命令中的替换文本会被缩放, 而第一个命令中的替换文本不会被缩放。如果图形的自然大小和被缩放后的大小差别很大, 则这两个命令得到的结果会大不相同。

10.5.5 PSfrag 的不兼容性

虽然 PSfrag 3.0 版本比其以前的版本有很多优越性, 但它却与 Xfig 生成的使用了填充模式对象的 EPS 图形不兼容。PSfrag 包中的 `readme.xfg` 描述了这种不兼容性。

PSfrag 包中的另一文件 `readme.sem` 描述了 PSfrag 和 Seminar 宏包之间的不兼容性。值得庆幸的是, 在 CTAN 的最新版本的 Seminar.cls 宏包中已消除了这一不兼容性。

由 Xfig 生成的使用了 “pattern fill” 的 EPS 图形文件在与 PSfrag 配合使用时会遇到问题。问题的原因在于 Xfig 和 PSfrag 都要对 PostScript 命令 `show` 进行重新定义。这种重新定义不应该互相冲突, 事实上却并非如此。

尽管 PSfrag 的维护者们还没有确定一个长远的解决办法, 但是下面所提供的方法似乎可以解决这一问题。

(1) 在 EPS 文件中, 找到 `/PATfill` 命令。

(2) 在 `/PATfill` 命令的定义中, 找到 `show` 命令。这里 `show` 命令只会出现一次。

(3) 用 `oldshow` 替代 `show` (`oldshow` 置于 XFig 存放 “old” 版本的显示机制的地方, 在它因自己的目的而重定义 `show` 之前)。

如果你发现 PSfrag 或 Xfig 对此有另外的解决办法, 请和 PSfrag 的维护者们联系 (E-Mail: psfrag@rascals.stanford.edu)。

10.6 多次使用同一图形的几种技巧

当一幅图形在文档中被多次使用时, 它的 EPS 代码将会多次出现在最后得到的 PS 文件中。特别地如在文档的页眉或页脚使用标志或其他图形时, 就会遇到这种情形。本节将介绍一些多次使用同一图形的技巧。

一般来说, 多次使用同一图形通常有以下 4 种方法:

(1) 每次使用图形时均用 `\includegraphics{file.eps}`。但这样做会出现以下两个问题:

- 每次用到 `\includegraphics` 时, LATEX 都得搜索和打开一次图形文件。
- 在最后生成的 PS 文件中, EPS 图形代码多次出现, 使生成的 PS 文件变得很大。

(2) 将 EPS 图形文件存放到一个 LATEX 盒子中, 每当用到图形时, 就调用这一个 LATEX 盒子来插入图形。这将使 LATEX 只需搜索和打开一次图形文件即可。在 LATEX 文件的开头加入如下命令:

```
\newsavebox{\mygraphic}
\sbox{\mygraphic}{\includegraphics{file.eps}}
```

每次使用图形时, 用命令 `\usebox{\mygraphic}`。图形的缩放和旋转可用命令 `\scalebox` 和 `\rotatebox` 来实现。不过, 在最后生成的 PS 文件中, EPS 图形代码仍会多次出现。PS 文件的大小没有改变。

(3) 当 EPS 的图形是一个矢量图形时, 可将此绘图的代码定义为一个 PostScript 命令, 当用到图形时就调用这一个 PostScript 命令, 详见第 10.6.1 节。因为在最后生成的 PS 文件中只包含了一次 EPS 的图形代码, 所以 PS 文件会很小。不过在打印时由于绘图命令一直存放在打印机的内存中, 很容易导致打印机的内存耗尽而无法打印。

另外, 使用这种方法时, LATEX 仍然需要每次对图形文件进行搜索和打开操作。

(4) 像前面一种方法一样定义 PostScript 绘图命令, 但把它存放到一个 LATEX 盒子中。这样不仅最后生成的 PS 文件很小, 而且 LATEX 也只需搜索和打开一次图形文件即可。

10.6.1 定义 PostScript 命令

本节介绍如何定义一个 PostScript 命令来完成一幅 EPS 矢量图形的绘图指令。这一方法不适合于那些包含位图的 EPS 图形。

为了将一个 EPS 图形转化为一个 PostScript 命令, 必须将 EPS 图形文件分为两个文件。其中一个定义了 PostScript 字典和图形命令, 另一个则含有图形文件信息和使用已定义的 PostScript 命令。例如, 一个用 xfig 生成的 EPS 文件有如下的形式:

```
%!PS-Adobe-2.0 EPSF-2.0
%%Title: /tmp/xfig-fig017255
%%Creator: fig2dev Version 2.1.8 Patchlevel 0
%%CreationDate: Sun Sep 3 15:36:01 1995
%%Orientation: Portrait
%%BoundingBox: 0 0 369 255
%%Pages: 0
%%EndComments
/$F2psDict 200 dict def
$F2psDict begin
```

```
...
%%EndProlog
$F2psBegin
...
$F2psEnd
```

这里省略符号“...”代表没有列出的命令。一个 EPS 文件一般包括三部分:

- (1) 以 % 开始的 header 命令。
- (2) Prolog 部分开始于:

```
/$F2psDict 200 dict def
```

结束于:

```
\%%EndProlog
```

Prolog 部分定义了 EPS 文件所使用的 PostScript 字典中的命令。在这个例子中, PostScript 字典名为 \$F2psDict, 当然不同的文件可有不同的名字。

- (3) 最后一部分包含用来绘图的命令。

假设上面的这个 EPS 文件名为 file.eps。新建两个文件, 分别命名为 file.h 和 file.ps。其中文件 file.h 含有如下内容:

```
/$F2psDict 200 dict def
$F2psDict begin
...
%%EndProlog
/MyFigure{
$F2psBegin
...
$F2psEnd
} def
```

文件 file.ps 含有如下内容:

```
%!PS-Adobe-2.0 EPSF-2.0
%%Title: /tmp/xfig-fig017255
%%Creator: fig2dev Version 2.1.8 Patchlevel 0
%%CreationDate: Sun Sep 3 15:36:01 1995
%%Orientation: Portrait
%%BoundingBox: 0 0 369 255
%%Pages: 0
%%EndComments
```



```
$F2psDict begin MyFigure end
```

文件 file.h 中定义了 PostScript 字典和命令 /MyFigure, file.ps 则包含了 EPS 文件的 header 信息, 并且使用了 file.h 中定义的 PostScript 命令。必须特别指出的是, file.ps 中的 %!PS... 行和 BoundingBox 行是非常重要的。这时, 可像下面的例子一样在 LATEX 文件中使用这个图形。

```
\documentclass{article}
\usepackage{graphicx}
\special{header=file.h}
\begin{document}
...
\includegraphics[width=2in]{file.ps}
...
\includegraphics[totalheight=1in]{file.ps}
...
\end{document}
```

在这里并没有使用原始图形文件 file.eps。因为 file.h 中的 PostScript 命令只被使用了一次, 所以最后得到的 PS 文件很小。然而, 每次插入图形的时候, LATEX 都要搜索和读取 file.ps 一次。下面的命令将图形存放到一个 LATEX 盒子中, 使得在 LATEX 只搜索和读取 file.ps 一次的情况下, 仍得到很小的 PS 文件。

```
\documentclass{article}
\usepackage{graphicx}
\special{header=file.h}

\newsavebox{\mygraphic}
\sbox{\mygraphic}{\includegraphics[width=2in]{file.ps}}

\begin{document}
...
\usebox{\mygraphic}
...
\resizebox*{1in}{!}{\usebox{\mygraphic}}
...
\end{document}
```

所得的结果和上一个例子是一样的。

10.6.2 在页眉和页脚使用图形

在页眉和页脚使用图形的一个最简单的方法是使用 `fancyhdr` (它是旧的 `fancyheadings` 的增强版本)。

在 LATEX 文档中, 页眉由左、中、右三部分组成。 `\fancyhead` 命令指定了页眉的形式和内容, 并以 L, C, R 区分左、中、右区域。例如:

```
\pagestyle{fancy}
\fancyhead[C]{My Paper}
```

这使得页眉的中间部分印出 “ My Paper ”, 而

```
\pagestyle{fancy}
\fancyhead[L,R]{\textbf{Confidential}}
```

使得页眉的左右都印出 “ **Confidential** ”。如果没有指定 L, C, R 中的任何一个, 那么由 `\fancyhead` 定义的内容将在三个区域中都会印出。类似地, `\fancyfoot` 则用来定义页脚的左、中、右三个区域。

可以利用 `fancyhdr` 宏包中的命令来在页眉和页脚上使用图形。例如, 在用第 10.6.1 节的方法将 EPS 文件 `file.eps` 分为 `file.h` 和 `file.ps` 后, 执行下面的命令:

```
\documentclass{article}
\usepackage{fancyhdr,graphicx}

\renewcommand{\headheight}{0.6in} %% must be large enough for graphic
\renewcommand{\textheight}{7.5in}

% Define PostScript graphics command
\special{header=file.h}

% Save graphics in LaTeX box
\newsavebox{\mygraphic}
\sbox{\mygraphic}{\includegraphics[totalheight=0.5in]{file.ps}}

\pagestyle{fancy}
\fancyhead{ } % clear all header fields
\fancyhead[L]{\usebox{\mygraphic}}
\fancyfoot{ } % clear all footer fields
\fancyfoot[C]{\thepage}
\renewcommand{\headrulewidth}{0.5pt}
\renewcommand{\footrulewidth}{0pt}
\begin{document}
```

...

```
\end{document}
```

可将图形放置在每一使用 “fancy” 风格页的左上角，并且下面有一条宽为 0.5pt 的横线。此外，每页的页角的中央放置页码，但它的上方没有横线。这些设置不会影响 “plain” 风格的页面。

当使用 [twoside] 排版选项时，经常希望在奇数页和偶数页设置不同的页眉和页脚，这时可使用 O 和 E 选项来区分奇数页和偶数页。如果没有给出 O 和 E 选项，则页眉和页脚的命令会应用到所有的页面中，无论是奇数页还是偶数页。例如：

```
\pagestyle{fancy}
\fancyhead[LE]{My Paper}
\fancyhead[RO]{My Name}
\fancyfoot[C]{\thepage}
```

可在偶数页的左上角放置 “My Paper”，在奇数页的右上角放置 “My Name”，页脚的中央则放置页码。而命令

```
\pagestyle{fancy}
\fancyhead[LE,RO]{\usebox{\mygraphic}}
\fancyfoot[C]{\thepage}
```

使得偶数页的左上角和奇数页的右上角印出图形。

命令 \fancyhead 只对那些页面式样为 “fancy” 的页面起作用，即使用 \pagestyle{fancy} 将文档的页面式样设置为 “fancy” 式样。一些页面，如封面、目录和每章的第一页仍为默认的 “plain” 式样。

改变 “plain” 页面式样的默认设置可用 \fancypagestyle 命令来实现。例如将下面的命令加到上面的例子中可使得封面、目录等的页眉上也有图形印出。

```
\fancypagestyle{plain}{%
\fancyhead{ } % clear all header fields
\fancyhead[L]{\usebox{\mygraphic}}
\fancyfoot{ } % clear all footer fields
\fancyfoot[C]{\thepage}
\renewcommand{\headrulewidth}{0.5pt}}
```

```
\renewcommand{\footrulewidth}{0pt}}
```

当使用 [twoside] 排版选项时, 将上面的

```
\fancyhead[L]{\usebox{\mygraphic}}
```

替换为

```
\fancyhead[LE,RO]{\usebox{\mygraphic}}
```

则在每一页的页眉上都放置了图形。

10.6.3 在背景中使用图形水印

有时在排版时会遇到在背景中使用图形水印的情况。如同上节讨论的那样, 也可用 fancyhdr 来实现。在下面的例子中将利用 fancyhdr 宏包中的命令, 在每一页都用图形 file.eps 作为背景。

```
\documentclass{article}
\usepackage{graphicx,fancyhdr}

%% store graphics in a box
\newsavebox{\mygraphic}
\sbox{\mygraphic}{\includegraphics[keepaspectratio,
    height=0.8\textheight,
    width=0.8\textwidth]{file.eps}}

\pagestyle{fancy}
\fancyhead{ }
\fancyhead[C]{\setlength{\unitlength}{1in}
    \begin{picture}(0,0)
        \put(-2.2,-6){\usebox{\mygraphic}}
    \end{picture}}
\fancypagestyle{plain}{%
    \fancyhead{ }%
    \fancyhead[C]{\setlength{\unitlength}{1in}
        \begin{picture}(0,0)
            \put(-2.2,-6){\usebox{\mygraphic}}
        \end{picture}}}
\begin{document}
...
\end{document}
```

在上面的例子中, 图形的放置位置在页眉中央下方 6 英寸, 偏左 2.2 英寸的地方。可通

过改变上述参数来改变图形的放置位置。

因为页眉在正文文本之前排出，所以正文文本会出现在图形的上方，从而得到水印的效果。反之，因为页脚在正文文本之后排出，所以若在页脚中使用图形会覆盖正文文本。如果 `file.eps` 是一矢量图形，可用第 10.6.1 节的方法来使得最后生成的 PS 文件较为小些。

第 11 章 浮动图形环境

这一章主要讲述有关浮动图形环境的一些内容。把插入的图形放置于 L^AT_EX2_ε 的图形环境 (figure) 中有很多好处，在图形环境中的图形会被自动编号，从而可被引用或加到目录中。此外，置于图形环境中的图形可以通过浮动被很好地分页，因而可以制作出具有专业水准的文稿。

除了 L^AT_EX2_ε 图形环境的内容外，本章还讲述一些和图形有关的内容，例如：怎样自定义图形环境；怎样调整图形的放置位置，调整图形周围的距离，调整标题的距离和在图形与文本之间加入横线等；怎样自定义标题的格式，自由地改变标题的式样、宽度和字号；怎样在竖排页面版式的文档中加入横排的图形，将标题放置于图形的两边而不是上面或下面；对于双面排版的文档，如何确保一幅图形放置于奇数页或偶数页。还有，怎样确保两幅图形都出现在迎面的页上，怎样得到带框的图形，如何得到并列的图形和子图及可跨页的连续图形等。

11.1 浮动图形环境

在使用文字处理软件排版时，用户可以让图形准确出现在放置的位置。但是，因为这些图形不能被分割，所以经常导致糟糕的分页，将大片的空白留在页面下方。为得到专家级的排版效果，用户不得不手工调整图形的位置。这种工作非常乏味，尤其是几乎每次修改文档都得重做一次。

为了既能得到专家级的排版效果，又不必手工做调整图形位置的工作，L^AT_EX 提供了一个浮动图形机制来自动将图形放置到合适的位置。这一机制非常有效。不过，它也会给那些习惯于手工调整图形的新手带来麻烦。有效地利用浮动图形机制需要注意以下两点：

- **不要使用依赖于图形放置位置的文本。**如“这幅图...”或“下面的图形...”等短语要求所指的图形需放在固定位置。而像“图 14...”这样的短语，则允许图形出现在任意位置。
- **放松。**一些使用者在发现图形没有十分准确地出现在他们想要的位置时，往往非常着急。这没有必要，图形的放置是 L^AT_EX 的工作，最好放松一些。

下面介绍 L^AT_EX 是以什么样的排版规则来决定浮动图形的位置。为方便起见，下面列出一些最常见的关于浮动图形放置的问题。

(1) 不要束缚 L^AT_EX 的手脚。给出的浮动选项越多，L^AT_EX 做得就越好。特别是，使用选项 [lrbp] 和 [tbp]，参见第 11.1.2 节。

(2) 很多人发现默认的浮动参数过于严格。下面的命令将浮动参数重新设置为更宽松的值 (详见第 11.2.2 节)：

```
\renewcommand{\textfraction}{0.15}
```

```

\renewcommand{\topfraction}{0.85}
\renewcommand{\bottomfraction}{0.65}
\renewcommand{\floatpagefraction}{0.60}

```

(3) LATEX 允许图形浮动到当前页的顶部, 这样会使图形在引述它的文本前出现。不喜欢这样做的用户可以使用 `flafter` 宏包。无需使用特殊的命令, 只要简单地调入该宏包 `\usepackage{flafter}` 即可。

(4) 要确保图形的浮动不超过某一特定点, 可调入 `placeins` 宏包, 并且使用 `\FloatBarrier` 命令。见第 11.1.3 节。

注意: 过多使用 `\FloatBarrier` 命令会导致浮动位置难以控制或浮动参数不正确。这种情况都是应当尽量避免的。

11.1.1 创建浮动图形

通过把命令置于一个 `figure` 环境中来生成浮动图形。在图形环境中的所有内容都会被保持在一起, 浮动到合适的位置以保证得到最好的分页结果。使用 `\caption` 命令来为浮动图形自动地编号并加上标题。例如, 下面的命令将 EPS 图形 `graph.eps` 放到一个浮动图形中:

```

\begin{figure}
  \centering
  \includegraphics[totalheight=2in]{graph.eps}
  \caption{This is an inserted EPS graphic}
  \label{fig:graph}
\end{figure}

```

效果如图 11-1 所示。

对于图形环境, 应当注意:

- `\label` 命令和 `\ref`, `\pageref` 命令配合使用, 可对图形标题进行交叉引用。而 `\label` 命令必须紧接着 `\caption` 命令给出。
- 如果一图形环境中没有使用 `\caption` 命令, 那么它将一个没有编号的浮动图形。
- 如果一图形环境中使用了多个 `\caption` 命令, 那么它将生成多个一起浮动的图形。这在排版并列放置的图形 (参见第 11.12 节) 或如图 11-4 那样复杂排列的图形时非常有用。
- 可用命令 `\listoffigures` 来得到一个图形目录。
- 默认情况下, 图形标题将在图形目录中列出。 `\caption` 命令有一可选项用来将与标题文本不同的内容加到图形目录中。如:

```
\caption[List Text]{Caption Text}
```

会在标题中使用 `Caption Text` 而在图形目录中使用 `List Text`。这在使用特别长的标题时会很有用。

- 图形环境 (`figure`) 不能在段落中使用。因此也不能在像 `parbox` 或 `minipage` 等盒子中使用。

- 若 `figure` 环境被置于一正文段落中，如下所示。

```
...text text text text text
\begin{figure}
...
\end{figure}
text text text text text...
```

那么，它在正文段落结束之前不会被处理。

11.1.2 图形的放置

图形 (`figure`) 环境有一个可选参数项允许用户指示图形有可能被放置的位置。这一可选参数项可以是下列字母的任意组合。

- `h`: 当前位置。将图形放置在正文文本中给出该图形环境的地方。如果本页所剩的页面不够，这一参数将不起作用。
- `t`: 顶部。将图形放置在页面的顶部。
- `b`: 底部。将图形放置在页面的底部。当一幅图形被放置在页面的底部时，如果此页有脚注，它将位于所有脚注的下方。现在还没有办法来避免这种情况。
- `p`: 独立页。将图形放置在一个允许有浮动对象的独立页面上。

注意:

- 如果在图形环境中没有给出上述任一参数，则默认值为 `[tbp]`。
- 给出的参数顺序不会影响到最后的结果。因为在考虑这些参数时 LATEX 总是尝试以 `h`，`t`，`b`，`p` 的顺序来确定图形的位置。所以 `[hb]` 和 `[bh]` 都使 LATEX 以 `h-b` 的顺序来排版。
- 给出的参数越多，LATEX 的排版结果就会越好。例如 `[htbp]`，`[tbp]`，`[htp]`，`[lp]` 等这些组合得到的排版效果不错。
- 只给出单个的参数项极易引发问题。实际上，`[h]` 选项不可能单独使用，这是由于使用单个的 `[h]` 选项往往会导致糟糕的结果。较新版本的 LATEX 会自动将其改为 `[ht]`。如果该图形不适合所指定的位置，它就会被搁置并阻碍对后面的图形的处理。一旦这些阻塞的图形数目超过 18 幅 (LATEX 所能容许的最大值)，就会产生 “Too Many Unprocessed Floats” 的错误 (参见第 11.1.4 节)。

当 LATEX 试图放置一浮动图形时，它将遵循以下规则:

- (1) 图形只能置于由位置参数所确定的地点。
- (2) 图形的放置不能造成超过版心的错误 (overfull page)。

(3) 图形只能置于当前页或后面的页中。因为图形可浮动到当前页的顶部，所以它可能会出现它所在文本的前面。要防止出现这种情况，可使用 `fiater` 宏包。因此，图形只能“向后浮动”而不能“向前浮动”。

(4) 图形必须按顺序出现。这样，只有当前面的图形都被放置好之后，后面的图形才能被放置。

- 只要前面有未被处理的图形时，图形就不会被放在当前位置。

- 一幅“不可能放置”的图形将阻碍它后面的图形的放置，直到文件结束或达到 LATEX 的浮动限制。参见第 11.1.4 节。

同样地，表格也只能在其前面的表格都被处理完后，它才能被放置。不过，表格在排版时是跳过图形而单独处理的。

(5) 放置浮动图形必须符合在第 11.2 节中给出的视觉效果 (esthetic rules)。例如，一页上的浮动对象数目不能超过总数 (totalnumber)，在浮动位置选项前加上一个惊叹号会使 LATEX 忽略应用于文本页的视觉效果 (如 `\begin{figure}[!ht]`)，而试图用最严格的标准来放置浮动图形。不过，感叹号不会影响应用于浮动页的视觉效果。

11.1.3 清除未处理的浮动图形

使用浮动图形的一大优势是 LATEX 不必将它们放置在其输入的地方。LATEX 会将它们暂时保存，在更合适的地点才放置它们。当一浮动图形已被 LATEX 读入，但还没有将它放到页面上时，这一图形被称为“未处理的浮动图形”。虽然 LATEX 通常对浮动图形的处理很好，但有时还是需要强迫 LATEX 去处理那些未处理的浮动图形。

下面的三个方法都可以用来清除未处理的浮动图形。这些命令必须分开使用。同时，过多地使用这些命令，有时会要自己来管理浮动图形的位置或意味着浮动图形的放置参数错误 (参见第 11.2 节)。

1. clearpage

用来清除未处理的浮动图形的最基本方法是使用 `\clearpage` 命令。它能让 LATEX 排版所有未处理的浮动图形并开始一新页。尽管这一命令很有效，但也常常导致页面的下方出现很大的空白。

2. FloatBarrier

通常，最好的方法是使用 `placeins` 宏包提供的 `\FloatBarrier` 命令。使用 `placeins` 宏包的方法如下：

- `\FloatBarrier` 使所有未处理的浮动图形被立即处理。与 `\clearpage` 不同，它不会开始一新页。
- 如果经常要求浮动图形在其所在的章节中排出，可在调用 `placeins` 宏包时使用 `section` 选项

```
\usepackage[section]{placeins}
```

这会重新定义 `\section` 命令，即在每一个 `section` 前都加上一个 `\FloatBarrier` 命令。

注意这个 `[section]` 选项是严格的。举例来说，如果在一页的中间开始一个新的 `section`，那么，上面这个 `section` 的浮动图形就不能放置在这一页的底部。

- 使用 `below` 选项

```
\usepackage[below]{placeins}
```

会比使用 `section` 选项松一些。它可以允许上一个 `section` 的浮动图形出现在下一个 `section` 的开始部分，只要在同一页中有上一个 `section` 的内容。

3. afterpage/clearpage

afterpage 宏包提供了命令 `\afterpage`，该命令将在下一自然分页时执行。因此，用

```
\afterpage{\clearpage}
```

会使所有未处理的浮动对象在下一分页前被清除完。

使用 `\afterpage{\clearpage}` 并不总是可以解决浮动限制问题 (参见第 11.1.4 节)。因为它只是在下一页结束前才会执行 `\clearpage` 命令，而在下一页结束前，未处理的浮动对象可能已超过了 LATEX 的限制。`\afterpage{\clearpage}` 命令在排版较小的浮动图形时特别有用，而命令 `\floatpagefraction` (参见第 11.2.2 节) 会阻止太小的图形在浮动页上出现；又由于浮动参数改变选项 “!” 不会应用于浮动页，选项 “[!p]” 不会破除 `\floatpagefraction` 的限制，故使用 `\afterpage{\clearpage}` 是一个既能克服 `\floatpagefraction` 的限制而又不会导致有较多空白正文页的简单办法。

11.1.4 过多未处理的浮动对象

如果一个浮动对象不能被即时处理，则会被放到未处理的浮动对象队列中等待处理。由于在 LATEX 中，这一队列只能有 18 个位置，所以当未处理的浮动对象的数目超过这一限制时，就会导致发生 “Too Many Unprocessed Floats” 的错误。造成这种错误的原因有四个：

(1) 最常见的原因是浮动位置选项与浮动位置参数冲突。例如一个给定 `[t]` 选项的图形，如果它的高度超过了 `\topfraction` 的值，就会被放到等待处理队列中。所以给出尽可能多的浮动位置选项就会解决类似的问题。

(2) 不适当的浮动式样参数值会使得一些图形无法放置。所以一定要确保所使用的浮动式样参数值满足第 11.2.2 节中提出的要求。

(3) 在个别的情况下，如使用了很多浮动对象和边注 (和浮动对象的处理机制相同)，可能确实需要较大的等待队列，这时可使用 `morefloats` 宏包将等待队列的数目限制增加到 36。

(4) 如果有 18 幅以上的图形在中间没有任何文本的情况下被读入，就会超出 LATEX 浮动放置队列的最大数目。可能的解决办法是：

- 将图形散布在正文中。这可使足够的文本来自然分页，LATEX 也会更容易地处理浮动对象。
- 在这些图形之间加入 `\clearpage`。这样做可能要花费一些时间来调整页面以避免产生有很大空白的页 (因为 `\afterpage{\clearpage}` 只在下一自然分页才会执行 `\clearpage`，而在这种情形下，在下一自然分页前就会超过限制了。所以不会起作用)。
- 因为这里没有文本，所以图形也不用浮动。故最好的解决办法是采用第 11.5 节中介绍的方法来构建非浮动的图形，用 `\vspace` 和 `\vfill` 来提供竖直间距。

11.2 定制浮动位置

下面列出的式样参数是 LATEX 用来避免在一页上放置了过度的浮动对象等这样糟糕的情况。如果在正文中修改了这些参数的值，那么它们在下一页才会生效。而如果在导言区修改了这些参数，则会对整个文档都起作用。

11.2.1 浮动图形放置的计数器

浮动图形放置的计数器如表 11.1 所列。

表 11.1 浮动图形放置的计数器

topnumber	可以位于一页顶部的浮动对象的最大数目 (默认值为 2)
bottomnumber	可以位于一页底部的浮动对象的最大数目 (默认值为 1)
totalnumber	可以位于一页中的浮动对象的最大数目 (默认值为 3)

表 11.1 中所给出的三个计数器可用于防止 LATEX 将过多的浮动对象置于一个文本页面中，但它们不会影响浮动页。在浮动位置选项前加上“!”会让 LATEX 忽略这些计数器。这些计数器的值可用 `\setcounter` 命令来设置。例如：

```
\setcounter{totalnumber}{2}
```

则会阻止 LATEX 将多于两个的浮动对象放置到一个文本页中。

11.2.2 图形环境中的各种比例参数

图形环境中的各种参数比例如表 11.2 所示。

表 11.2 图形放置比例

textfraction	页面中必须用来排放文本的最小比例。默认值为 0.2，即一页中浮动对象所占的比例不得超过 80%
topfraction	页面顶部可以用来放置浮动对象的高度与整个页面高度的最大比例。默认值为 0.7，即放置在页顶部的浮动对象所占的高度不得超过整个页面高度 70%。同样地，如果多个使用了选项 t 的浮动对象的高度和超过了整个页面高度的 60%，即使它们的数目没有超过 topnumber 的值，仍将一个也不会被放置在页面顶部
bottomfraction	页面底部可以用来放置浮动对象的高度与整个页面高度的最大比例。默认值为 0.3，这使得如果浮动对象的高度不超过整个页面高度的 40%，可以允许放置在页面底部
floatpagefraction	浮动页中必须由浮动对象占用的最小比例。因此在一浮动页中空白所占的比例不会超过 $1 - \text{floatpagefraction}$ 。默认值为 0.5

表 11.2 中给出的命令用来控制一页中有多大比例的区域可用来放置浮动对象 (这里的比例是指浮动对象的高度除以正文高度 `\textheight`)。前面三个命令只作用于文本页，而最后

一个命令只作用于浮动页。在浮动位置选项前加上“!”会让 LATEX 忽略前面三个命令, 而 `\floatpagefraction` 总起作用。这些命令的值可以用 `\renewcommand` 来修改。例如:

```
\renewcommand{\textfraction}{0.3}
```

它限定浮动对象不得占用文本页的 70% 以上。

这些比例的默认值既可以防止浮动对象占据过多的文本页面, 也可以防止在有很大的空白的浮动页上放置很小的图形。虽然这些默认值可以让 LATEX 很好地工作, 但有时显得稍稍严格了些, 导致有些图形被浮动到距离标明它们的命令很远的地方。这时, 可以将这些比例的值稍微放宽松些。例如:

```
\renewcommand{\textfraction}{0.15}
\renewcommand{\topfraction}{0.85}
\renewcommand{\bottomfraction}{0.65}
\renewcommand{\floatpagefraction}{0.60}
```

修改这些比例值的时候必须小心, 不适当的比例值会导致低劣的排版结果。要避免出现这类问题, 应该遵守以下规则:

- `\textfraction` —— `\textfraction` 的值不能小于 0.15, 因为这会导致令人难以阅读的文本页。如果一幅图的高度超过了 `\textwidth` 的 85%, 那么将它单独放置到一浮动页上的效果肯定比勉强将它放置到一文本页, 而且下方还有一两行文本的效果好得多。永远不要将 `\textfraction` 的值设为 0, 因为这会让 LATEX 感到迷惑并导致低劣的排版结果。
- `\topfraction` —— 永远不要使 `\topfraction` 的值小于 $1 - \text{\textfraction}$, 否则会使 LATEX 的浮动定位算法发生冲突。
- `\bottomfraction` —— 因为好的排版风格不提倡在页面的底部放置太多的图形, 故 `\bottomfraction` 的值一般要比 `\topfraction` 的值小。永远不要使 `\bottomfraction` 的值为 0, 因为这也会让 LATEX 的浮动定位算法发生冲突。
- `\floatpagefraction` —— 如果 `\floatpagefraction` 的值很小, 那么每一浮动页上就会只放置一个浮动对象。当放置的浮动对象很小时, 浮动页上会出现很大面积的空白。如果 `\floatpagefraction` 的值大于 `\topfraction` 的值, 使用了 `[tp]` 选项的图形就有可能变成“刺”。比如一个 `[tp]` 图形的高要大于 `\topfraction` 的值, 却比 `\floatpagefraction` 的值小, 那么由于它既无法放置在文本页上, 也无法放置在浮动页上, 所以就成为一根“刺”。为避免出现这样的图形, `\topfraction` 和 `\floatpagefraction` 必须满足以下的不等式:

$$\text{\floatpagefraction} \leq \text{\topfraction} - 0.05$$

后面的 0.05 这一项是因为文本页和浮动页有不同的竖直间距^⑧。同样地, 如果使用了 `[bp]` 或 `[hbp]` 图形, `\floatpagefraction` 和 `\bottomfraction` 要满足:

⑧ 特别地, 在比较图形的高度所占比例和 `\topfraction` 时, `\textfloatsep` 和其他文本页浮动间距都被计算在内。而对浮动页来说, 在测试图形的高度所占比例是否超过了 `\floatpagefraction` 时, 浮动间距不被计算在内。所以必须从 `\topfraction` 中减去 `\textfloatsep` 后, 再用所得到的结果除以 `\textheight` 的值。详见第 11.3.1 节。

$$\backslash floatpagefraction \leq \backslash bottomfraction - 0.05$$

注意：默认值并不满足上面的不等式，在处理 [bp] 或 [hbp] 图形时可能会有问题。

11.2.3 限制浮动

限制浮动的选项如表 11.3 所示。

表 11.3 限制浮动选项

<code>\suppressfloats[t]</code>	限定在当前页的顶部没有其他的浮动对象
<code>\suppressfloats[b]</code>	限定在当前页的底部没有其他的浮动对象
<code>\suppressfloats</code>	限定在当前页的顶部和底部都不能出现其他的浮动对象

`\suppressfloats` 阻止在当前页的顶部或底部出现浮动对象，但是不会影响图形出现在当前位置或那些在位置选项前使用了“!”的图形。

如在一幅图形后紧接着给出 `\suppressfloats[t]`，则会阻止图形出现在其文本中的位置的上方。`flafter` 宏包重定义了 LATEX 的浮动算法，并在整个文档中都会这样做。

11.3 定制图形环境

11.3.1 图形的间距

图形与正文间距设定命令如表 11.4 所示。

表 11.4 正文中的图文间距

<code>\floatsep</code>	出现在页面的顶部或底部的浮动对象之间的垂直距离。默认为 12pt plus 2pt minus 2pt
<code>\textfloatsep</code>	出现在页面的顶部或底部的浮动对象与文本之间的垂直距离。默认为 20pt plus 2pt minus 4pt
<code>\intextsep</code>	出现在页面中间的浮动对象（如使用了 h 选项的浮动对象）与上下方文本之间的垂直距离。默认为 12pt plus 2pt minus 2pt

表 11.4 中给出的长度控制着两幅图形之间或图形与正文之间的间距。与其他的 LATEX 长度不同，这三个都是可伸缩长度，即它们可以缩短或拉长来更好地排版页面。这些长度可用 `\setlength` 命令设定。例如：

```
\setlength{\floatsep}{10pt plus 3pt minus 2pt}
```

将正常的 `\floatsep` 的值设定为 10pt。需要时可缩短到 8pt 或拉长到 13pt。

表 11.4 中给出的长度不会影响浮动页上各浮动对象之间的距离。它们由表 11.5 中给出的长度控制。单位 `fil` 允许无限伸长，就像由 `\vfill` 产生的垂直距离一样。当一段距离中出现多个 `fil` 时，它们将按比例充满这段距离。

表 11.5 浮动页的图文间距

<code>\@fptop</code>	浮动页中顶部的浮动对象上方的空白。默认为 0pt plus 1.0fil
<code>\@fpsep</code>	浮动页中的浮动对象之间的距离。默认为 8pt plus 2.0fil
<code>\@fpbot</code>	浮动页中底部的浮动对象下方的空白。默认为 0pt plus 1.0fil

表 11.5 中长度名字前的 @ 表示这是一个 LATEX 内部命令^⑨。所有改变这些长度的 `\setlength` 命令都必须放到 `\makeatletter` 和 `\makeatother` 之间。例如：

```
\makeatletter
\addtolength{\@fpsep}{4pt}
\makeatother
```

将浮动页中浮动对象之间的距离增加了 4pt。

11.3.2 图形上下方的水平线

通过定义 `\topfigurerule` 和 `\bottomfigurerule` 可在页面顶部或底部的文本和图形之间画上一条水平线。尽管 `\topfigurerule` 和 `\bottomfigurerule` 是已经定义的 LATEX 命令，但其奇特的定义方式要求在重定义时，用 `\newcommand` 而不是 `\renewcommand`。

表 11.6 图文间隔线命令

<code>\topfigrule</code>	在一页顶部的最后一个浮动对象后， <code>\textfloatsep</code> 前被执行的命令（参见第 11.3.1 节）
<code>\bottomfigrule</code>	在一页底部第一个浮动对象前， <code>\textfloatsep</code> 后被执行的命令

为了不破坏版面，这些命令所加的标尺的高度必须为零。例如要画一条 0.4pt 的水平线，就必须加上一个值为 -0.4pt 的距离：

```
\newcommand{\topfigrule}{\hrule\vspace{-0.4pt}}
```

因为 `\topfigrule` 在 `\textfloatsep` 之前被执行，所以上面的命令在图形与水平线之间没有留出距离。下面的命令则在图形与水平线之间留出了 5pt 的空间。

```
\newcommand{\topfigrule}{%
  \vspace*{5pt}\hrule\vspace{-5.4pt}}
\newcommand{\botfigrule}{%
```

^⑨ 为实现它的功能，LATEX 使用了很多普通用户无需涉及的内部命令。为防止这些内部命令名字和用户定义的命令的名字发生冲突，LATEX 在它的内部命令名字前加上了一个 @。由于 LATEX 命令的名字只能包含字母，所以通常不可能定义一个含有 @ 的命令。不过，命令 `\makeatletter` 让 LATEX 把 @ 当成字母，从而可以定义带有 @ 的命令。命令 `\makeatother` 则重新令 LATEX 不把 @ 当成字母。用户所有涉及到 LATEX 内部命令的代码都必须包含在 `\makeatletter` 和 `\makeatother` 之间。

```
\vspace*{-5.4pt}\hrule\vspace{5pt}}
```

在这里 `\topfigrule` 的定义中, 首先向下移动 5pt (进入到 `\textfloatsep` 的区域) 来给出图形与水平线之间的距离, 然后画上一条为 0.4pt 的水平线, 最后再向上移动 5.4pt 以补偿前面向下的位移。同样地, `\botfigrule` 在图形与水平线之间留出了 5pt 的空间。

由于上面的命令使得图形与水平线之间的距离为 5pt, 所以水平线与文本之间的距离为 `\textfloatsep-5pt` (参见第 11.3.1 节)。

水平线的线宽默认值为 0.4pt, 并可用 `\hrule` 命令的 `height` 选项来改变。

```
\newcommand{\topfigrule}{%
\vspace*{5pt}{\hrule height0.8pt}\vspace{-5.8pt}}
\newcommand{\botfigrule}{%
\vspace*{-5.8pt}{\hrule height0.8pt}\vspace{5pt}}
```

注意:

- `\topfigrule` 和 `\botfigrule` 命令对浮动页上的图形和放在当前位置的图形 (如使用了 `h` 选项) 不起作用。如果一放在当前位置的图形正好位于页面的顶部或底部, 则不会画上水平线。
- 不管图形是不是很宽, 水平线的长度与文本的宽度相等。
- 因为 LATEX 的 `\rule` 命令在 `\parskip` 不为零时会产生额外的空白, 所以代之以 TEX 命令 `\hrule`。

11.3.3 图形与标题的间距

LATEX 假定图形的标题位于图形的上方, 故而在标题上方保留了更多的空白。因此

```
\begin{figure}
\centering
\caption{图题}
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\end{figure}
```

图 11-1 表示了图题和图形非常接近的情形。

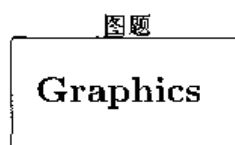


图 11-1 图题在上的例子

标题上下方的间距由长度 `\abovecaptionskip` (默认值为 10pt) 和 `\belowcaptionskip` (默认值为零)。可以用标准的 LATEX 命令 `\setlength` 和 `\addtolength` 来修改这些长度, 例如:

```
\begin{figure}
```

```

\setlength{\abovecaptionskip}{0pt}
\setlength{\belowcaptionskip}{10pt}
\centering
\caption{图题在图形上面 }
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\end{figure}

```

图 11-2 表示图题的上方没有额外的空白, 下方与图形之间则有 10pt 的距离。

图题在图形上面

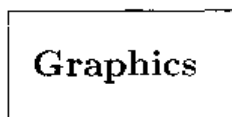


图 11-2 图题在图形上面的例子

如果一个文档的所有浮动对象的标题都位于该对象的上方, 那么可将命令

```

\setlength{\abovecaptionskip}{0pt}
\setlength{\belowcaptionskip}{10pt}

```

放到导言区里, 从而对整个文档都起作用。如果只是有一部分标题要求位于浮动对象的上方, 那么可定义如下的命令:

```

\newcommand{\topcaption}{%
\setlength{\abovecaptionskip}{0pt}%
\setlength{\belowcaptionskip}{10pt}%
\caption}

```

在希望得到上方标题的时候只要用 `\topcaption{标题文本}` 来代替 `\caption{标题文本}` 即可。

11.3.4 标题的标记

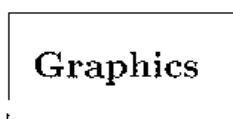
在默认情况下, LATEX 会在图形的标题开头加上像 “Figure 13: ” 这样的标记。其中的 “Figure ” 可以通过重定义 `\figurename` 来更改。例如, 执行下面的命令:

```

\begin{figure}
\centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\renewcommand{\figurename}{图 }
\caption{这是一个图题 }
\end{figure}

```

可得到如图 11-3 的结果。至于标题文本的字体, 分隔符 “: ” 及其他标题属性的修改可用 `caption2` 宏包 (参见第 11.4 节) 完成。



这是一个图题

图 11-3 加了图题的例子

11.3.5 将图形放于文档的最后

有些期刊要求将图表和正文文本分开排放, 这时可用 `endfloat` 宏包, 它可以将浮动对象放置到文档的最后。可用

```
\usepackage{endfloat}
```

将它调入。另外, 用 `\usepackage` 调入时还有一些选项, 包括:

- 在邻近浮动对象的文本中会放置像 “[Figure 4 about here.]” 之类的说明。要取消这一功能, 可在调入宏包时使用 `nomarkers` 选项。

```
\usepackage[nomarkers]{endfloat}
```

另外, 说明中的文本可通过重定义命令 `\figureplace` 和 `\tableplace` 来更改。例如:

```
\renewcommand{\figureplace}{%
\begin{center}%
[figurename~\thepostfig\ would appear here.]%
\end{center}}
```

- 在图形和表格之前会有一列表, 可使用 `nofiglist` 和 `notablist` 宏包选项来取消这一功能。
- `fighead` 和 `tabhead` 宏包选项分别在图形和表格前加上章节标题。
- 图形放置在表格之前, 也可用 `tablefirst` 宏包选项来改变这一顺序。
- 在每一图形和表格后会执行 `\clearpage` 命令, 从而使得每一页只有一个浮动对象。这可通过修改 `\efloatseparator` 来改变。例如,

```
\renewcommand{\efloatseparator}{\mbox{ }}
```

会在每一浮动对象后面放置一个空的盒子。

11.4 使用 `caption2` 宏包来定制标题

第 11.3.3 节和第 11.3.4 节分别介绍了如何定制浮动图形的标题的标记及标题上下方的空白。对于标题的其他属性的控制, 则利用 `caption2` 宏包^①来完成。

^① 由于最早的 `caption` 宏包有很多副作用 (比如要求在其他宏包后被调入后再才能被调入), 所以已经被重写, 并命名为 `caption2`。尽管从技术角度来说 `caption2` 仍是 beta 版, 但在使用中已经非常稳定有效。

caption2 宏包可以和很多与浮动对象有关的宏包一起使用。它正式声明支持 float, longtable, subfigure, 不过实际上, 和 floatfig, rotating, supertabular 和 wrapfig 等在一起也工作得很好。

用法: `\usepackage[options]{caption2}`

选项的具体说明见表 11.7。

表 11.7 caption2 选项

标题式样	normal, center flushleft flushright centerlast hang A#,indent	标题文本两边对齐, 其中最后一行为左对齐 标题文本居中 标题文本左对齐 标题文本右对齐 标题文本两边对齐, 其中最后一行居中 与 normal 式样相似
标题字号	scriptsize footnotesize small normalsize large A#, Large	选择标题的标记和文本的字号大小
标记字形	up, it, sl, sc	选择标题的标记的字形, 不会影响到标题的文本
字体序列	mb, bf	选择标题的标记的字体序列, 即字体的宽度或权重, 不会影响到标题的文本
标记字族	sl, sf, tt	选择标题的标记的字族, 可为 Roman, San Serif 或 Typewriter 字体, 不会影响到标题的文本
单行标题	online noonline	控制是否采用单行标题格式 (参见第 11.4.3 节)

11.4.1 标题格式

图 11-4 展示了 caption2 宏包定义的下列标题格式。标题选项具体含义参见表 11.7。

(1) indent 与 normal 式样相似, 只是标题文本从第二行开始, 每行行首缩进由命令 `\captionindent` 给出。因为 `\captionindent` 的默认值为零, 通常用像 `\setlength{\captionindent}{1cm}` 这样的命令来设置缩进值。

(2) hang 与 normal 式样相似, 只是标题文本从第二行开始, 每行行首缩进与标题标记宽度相等的长度。

通常这些标题格式在调入宏包时给出, 如:

```
\usepackage[centerlast]{caption2}
```

它将使整个文档中的标题都为 centerlast 格式。

11.4.2 标题格式的变换

`\captionstyle` 命令用来改变标题的格式。将这一命令置于一个环境中时, 仅仅改变这一

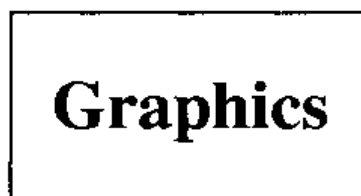
环境中的标题格式。例如：

```
\begin{figure}
  \captionstyle{centerlast}
  \centering \includegraphics[width=3in]{graphics.eps}
  \caption{居中的图题格式居中的图题格式 }
\end{figure}
```

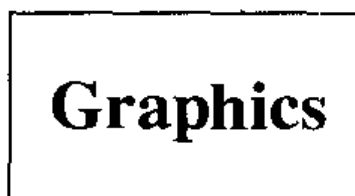
它只改变这一幅图形的标题格式。因为 `\captionstyle` 命令是置于一个浮动图形环境中的。而：

```
\captionstyle{centerlast}
\begin{figure}
  \centering \includegraphics[width=3in]{graphics.eps}
  \caption{居中的图题格式居中的图题格式 }
\end{figure}
```

它将此图与以后的图形的标题式样都改为 **centerlast**，因为命令 `\captionstyle` 是置于浮动图形环境外的。



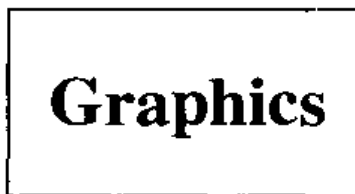
正常的图题格式正常
的图题格式



居中的图题格式 居
中的图题格式



右齐的图题格式
右齐的图题格式



缩格的图题格式
缩格的图题格式

图 11-4 不同图题格式例子

11.4.3 单行标题

如果标题只有一行，上节介绍的所有式样都会居中放置这一标题。在标题文本只有一行

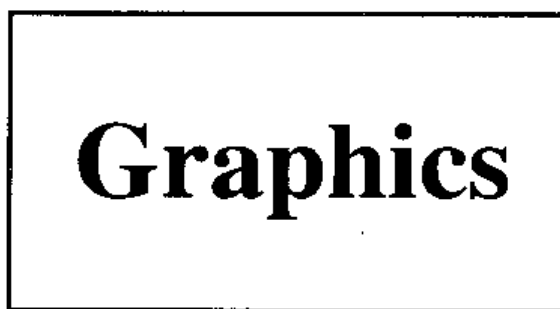
时, 仍然可以应用不同的式样, 必须在调入 `caption2` 时给出 `nooneline` 选项。如

```
\usepackage[nooneline,flushleft]{caption2}
```

它使得所有的标题文本 (包括单行标题) 都采用 `flushleft` 式样。若想在文本中改变 `nooneline` 选项, 可使用命令 `\onlinecaptionstrue` 来居中放置单行标题, 而命令 `\onlinecaptionfalse` 使得重新对单行标题应用选择标题式样。例如:

```
\begin{figure}
\captionstyle{flushleft}
\onlinecaptionstrue
\centering
\includegraphics[width=2.5in]{graphics.eps}
\caption{图题居中放置情况}
\end{figure}
```

如同图 11-5 所示, 图被居中放置。



图题居中放置情况

图 11-5 图题居中放置的例子

而下面的命令

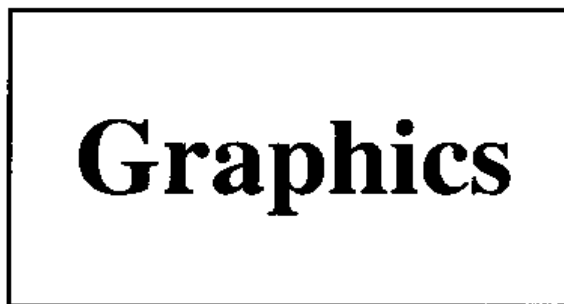
```
\begin{figure}
\captionstyle{flushleft}
\onlinecaptionfalse
\centering
\includegraphics[width=2.5in]{graphics.eps}
\caption{图题左对齐}
\end{figure}
```

它使得单行标题采用左对齐式样, 如图 11-6 所示。

11.4.4 标题的宽度

宏包 `caption2` 提供了直接指定标题及其两边空白宽度的功能。

- `\setcaptionwidth{width}` 设定标题的宽度为 `width`, 这里的 `width` 为任意有效的 TEX 度量单位。



图题左对齐

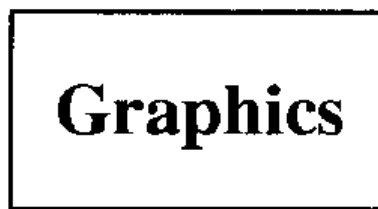
图 11-6 图题左对齐的例子

- `\setcaptionmargin{mar}` 设定标题任一边的空白为 `mar`，从而使得标题的宽度为标准宽度减去两倍的 `mar`。如果 `mar` 为一负值，那么标题的宽度要比标准的宽度宽一些。这在子图和小页环境中非常有用。

例如，命令：

```
\begin{figure}
  \setcaptionwidth{2in}
  \centering
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
  \caption{标题的宽度为 2 英寸，分为两行}
\end{figure}
```

它使得标题的宽度为 2 英寸，结果如图 11-7 所示。



标题的宽度为 2 英寸，分
为两行

图 11-7 标题宽度 2 英寸分为两行情形

上面的例子直接设定了标题的宽度。还有一种方法是通过给定标题和两边页边界的距离来间接设定标题的宽度。例如，命令：

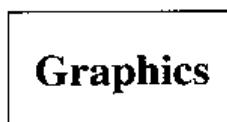
```
\begin{figure}
  \setcaptionmargin{1in}
```

```

\centering
\includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
\caption{图题较长，通过给定标题和两边页边界的距离
        为 1 英寸来间接设定标题的宽度 }
\end{figure}

```

它使得标题到两边页边界的距离为 1 英寸。如图 11-8 所示。



图题较长，通过给定标题和两边页边界的距离为 1 英寸来间接设定标题的宽度

图 11-8 标题到两边页边界的距离为 1 英寸情形

下面接着介绍如何将标题的宽度设为图形的宽度。如果图形的宽度已知，则非常容易。

```

\includegraphics[width=3in]{file.eps}
\setcaptionwidth{3in}
\caption{...}

```

如果图形的宽度未知，可以通过将它放到一个盒子里，然后测量盒子的宽度来得到。

```

\newsavebox{\mybox}
\newlength{\mylength}
...
\begin{figure}
  \centering
  \sbox{\mybox}{\includegraphics[height=3in]{file.eps}}
  \settowidth{\mylength}{\usebox{\mybox}}
  \setcaptionwidth{\mylength}
  \usebox{\mybox}
  \caption{This is a figure with a very , very , very,
           very , very , very , very long caption}
\end{figure}

```

这种方法也可应用于表格。`\mybox` 和 `\mylength` 可在文档中使用多次，而 `\newlength` 和 `\newsavebox` 只须声明一次即可。

11.4.5 标题的分隔符

在标题中，默认的分隔符“:”可通过重定义 `\captionlabeldelim` 来加以改变。例如，

```
\begin{figure}
  \renewcommand\captionlabeldelim}{.}
  \centering
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
  \caption{图题使用新定义的分隔符}
\end{figure}
```

将图 11-9 中的分隔符改为句点“.”。如果希望在句点后面加上一段距离，可用下面的命令得到。

```
\renewcommand{\captionlabeldelim}{.~}
```



图 1. 图题使用新定义的分隔符

图 11-9 图题使用新定义分隔符的情形

11.4.6 标题的字体

当在 `\usepackage{caption2}` 中使用 `scriptsize`，`Large` 选项时，标题的标记和文本的字号均会相应地改变。而 `up`，`it`，`sl`，`sc`，`md`，`bf`，`rm`，`sf`，`tt` 选项只作用于标题标记。

宏包 `caption2` 也允许用户设定单独的标题字体。`\captionfont` 命令可用来设定标题的字体（包括标记和文本），而命令 `\captionlabelfont` 则只设定标题标记的字体。因此若只想设定标题文本的字体，则必须使用 `\captionfont` 来设定标题文本的字体，同时用 `\captionlabelfont` 来设定标题标记的字体，包括取消一些由 `\captionfont` 设置的字体属性。下面的命令可以有效地生成标题：

```
{\captionfont%
{\captionlabelfont \captionlabel \captionlabeldelim}%
\captiontext}
```

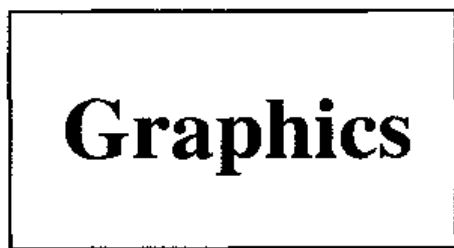
这里的 `\captionlabel` 命令生成标题标记，如“Figure 12”。`\captionlabeldelim` 生

成标记与文本之间的分隔符“:”。`\captiontext` 则给出标题文本。

LATEX 的字体可用字号、字形、字族和字体序列来描述。这四个字体特性均可用 `\captionfont` 和 `\captionlabel` 来指定。例如:

```
\begin{figure}
  \renewcommand{\captionfont}{\Large \bfseries \sffamily}
  \renewcommand{\captionlabelfont}{ }
  \centering
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
  \caption{试验标题 }
\end{figure}
```

结果如图 11-10 所示。在这个例子中, `\captionlabelfont` 后是空的, 这意味着它没有改变标题默认的字体属性和由命令 `\captionfont` 设定的标题标记的字体属性。由于没有给出字形, 所以整个标题的字形为默认的 upright 字体。



试验标题

图 11-10 未改变字体属性的标题

图 11-11 由下面的命令得到:

```
\begin{figure}
  \renewcommand{\captionfont}{\Large \bfseries \sffamily}
  \renewcommand{\captionlabelfont}{\small}
  \centering
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
  \caption{试验标题 }
\end{figure}
```

在这个例子中, 由 `\captionlabelfont` 给出的 `\small` 覆盖了由 `\captionfont` 指定的 `\Large` 字号。不过, 由于 `\captionlabelfont` 没有指定字体序列和字族, 所以 `\bfseries` 和 `\sffamily` 也应用于标题标记。

11.4.7 定制标题格式

宏包 `caption2` 也允许用户定义自己的标题格式。例如下面的命令

```
\newcaptionstyle{one}{%
```




图 11-11 改变字体属性的标题

```

\usecaptionmargin\captionfont%
\onelinecaption%
  {{\bfseries\captionlabelfont \captionlabel\captionlabeldelim}%
   \captiontext}%
  {{\centering\bfseries\captionlabelfont\captionlabel\par}%
   \captiontext}}
\newcaptionstyle{two}{%
  \usecaptionmargin\captionfont%
  {\centering\bfseries\captionlabelfont\captionlabel\par}%
  \onelinecaption{\captiontext}{\captiontext}}

```

定义了标题格式 one 和 two。对于多于一行的标题，这两种格式都使用加黑的标题标记（如 **Figure 12**）并单独占据一行。而对于单行标题，式样 two 使用加黑的标题标记并单独占据一行，标题文本另起一行。式样 one 则将标题标记和文本放置在同一行，中间用分隔符隔开。下面的图 11-12 由下面的命令得到，并分别使用了上面自定义的两种标题格式。

```

\begin{figure}
  \captionstyle{one}
  \centering
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
  \caption{第一种习惯标题式样}
\end{figure}
\begin{figure}
  \captionstyle{two}
  \centering
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
  \caption{第二种习惯标题式样}
\end{figure}

```

对于自定义标题格式，需要注意以下几点。

- 命令 `\onelinecommand` 带有两个参数：第一个在标题为单行时使用，第二个则是在标题文本多于一行时使用。



图 2 第一种习惯标题式样

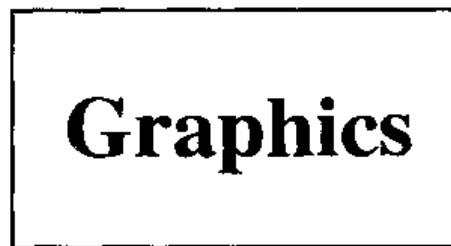


图 3

第二种习惯标题式样

图 11-12 两种习惯标题式样的例子

- 自定义标题式样时，不要求必须用 `\captionfont` 和 `\captionlabelfont`。不过，鼓励使用这些命令以使得所定义的格式更具灵活性。例如，在上面自定义的格式中，可用 `\captionlabelfont` 来改变默认的 `\bfseries`。如果不需要这种灵活性，那么上面自定义的标题格式的代码可以更简洁些。

11.4.8 标题中的断行

如果标题的文本多于一行，可用 `\protect\\` 来断行。然而，当标题文本的长度不超过一行时，它们被放在一个水平盒子中来处理，所有的 `\\` 或 `\par` 都将被忽略。

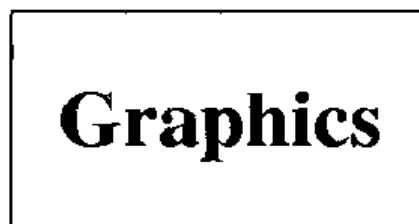
`caption2` 宏包允许标题文本以指定的任意长度断行。例如程序：

```
\begin{figure}
  \centering
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
  \captionstyle{center}
  \onelinecaptionsfalse
  \caption{标题的第一行 \protect \\
    标题的第二行 }
\end{figure}
```

得到图 11-13 中的标题。因为 `\\` 是脆弱的^⑪，必须在其前面加上 `\protect`。

使用 `\onelinecaptionfalse` 命令 (或 `noonelinc` 宏包选项) 来防止 LATEX 将标题置于一个水平盒子中处理而不能断行。

^⑪ 一些命令 (如 `\textbf`) 不在辅助文件中储存任何信息，那些把信息存储起来以备将来使用的命令被称为具有 `\emph` 移动参数的命令。在 `\emph` 移动参数中使用时常会崩溃的命令的情况就被称为是脆弱的，相反则称为健壮的。



标题的第一行
标题的第二行

图 11-13 标题中的断行例子

11.4.9 调整标题中的行距

若在文档中使用两倍行距，要在导言区中加入^⑫：

```
\linespread{1.6}
```

或

```
\renewcommand{\baselinestretch}{1.6}
```

这时，除了使得正文中行距为默认值的两倍外，脚注和浮动对象中标题的行距也扩大为原来的两倍。要想在正文中使用两倍行距，而在标题中使用单倍行距，可由 `setspace` 宏包^⑬来完成这一任务。

```
\usepackage{setspace}
\linestretch{1.5}
```

其中 `\linestretch` 的值为 1.0 时为单倍行距，为 1.25 时是一倍半行距，为 1.6 时是双倍行距。

无论 `setspace` 使用与否，`\captionfont` 命令都可以用来调节标题文本的行距。例如：

```
\renewcommand{\captionfont}{\linespread{1.6}\normalsize}
```

这使得无论正文中的行距是多少，标题文本都为双倍行距。

11.5 不浮动的图形

如同第 11.1 节所介绍的一样，LATEX 允许图形和表格“浮动”以增强排版效果。

^⑫ 这样的命令也可在正文中使用，尽管这种方式被认为是蹩脚的，但也可以用来在正文中改变行距。当使用这种方式时，必须在其后声明像 `\normalsize` 等字号命令以使所做的行距变化生效。

^⑬ 尽管 `doubleSPACE` 宏包也可以用来改变行距，但它并不是很好地按照 LATEX2 ϵ 的标准来写的，经常与其他 LATEX2 ϵ 宏包冲突，所以最好还是用 `setspace`。

不过,偶尔也希望一幅图形不要浮动,就放置在与它在 LATEX 源文件中相同的位置^⑭。`\caption` 命令可以在 `figure` 和 `table` 环境中使用是因为这两个环境各自定义了内部命令 `\@capttype`。这样,通过定义 `\@capttype` 就可以在 `figure` 和 `table` 环境外使用 `\caption` 命令。当然必须用命令对 `\makeatletter-\makeatother` 包围 `\@capttype`,使得可以在命令名中使用 `@`。每次使用时可用如下的命令:

```
\includegraphics{file.eps}
\makeatletter\def\@capttype{figure}\makeatother
\caption{This is the caption}
```

在导言区中定义下面的命令会更加方便。

```
\makeatletter
\newcommand\figcaption{\def\@capttype{figure}\caption}
\newcommand\tabcaption{\def\@capttype{table}\caption}
\makeatother
```

这样,在正文中无论是否在图形环境中,都可用 `\figcaption` 来得到图形标题。同样地,无论是否在表格环境中,都可用 `\tabcaption` 来得到表格标题。下面的命令

```
This is the text before the figure.
\\[\intextsep]
\begin{minipage}{\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=2in]{graphics.eps}%
\figcaption{This is a non-floating figure}
\label{fig:non:float}
\end{minipage}
\\[\intextsep]
```

This is the text after the figure.

可得到一幅不浮动的图形。对于不浮动的图形,需要注意下面几点:

- 使用小页环境 (`minipage`) 来防止在图形中出现分页的情况。
- 命令 `\\[\intextsep]` 开始一新行并在图形的前后加上垂直的空白,允许任意大小的空白, `\intextsep`(参见第 11.3.1 节) 被用来使不浮动的图形具有与浮动图形相同的上下间距。
- 一般情况下,浮动图形是按照它们在 LATEX 源文件中的顺序被一一放置的。而不浮动的图形则被立即放置到页面上,所以可能会出现图形顺序被打乱的情况^⑮。要避免这种顺序错乱,可在不浮动的图形前用 `\clearpage` 或 `\FloatBarrier` 命令清除未处理的浮动图形(参见第 11.1.3 节)。

^⑭ 因为经常会导致出现大面积的空白,不让图形浮动被认为是一种糟糕的排版风格。代之以使用 `[!ht]` 选项的图形环境通常会得到较好的结果。

^⑮ 在这种情况下,图形目录中图形的顺序是按照图形出现的顺序,而不是图形编号的顺序。

- `\figcaption`(参见第 11.6 节) 和 `\tabcaption`(参见第 11.14 节) 在生成边注图形以及与图形并列的表格时会很有用。

11.5.1 float 宏包中的 [H] 位置选项

float 宏包^⑩为 figure 环境加上了一个 [H] 位置选项, 从而使得用 figure 环境可以生成不浮动的图形。为使用此功能, 须在导言区使用

```
\usepackage{float}
```

并且在使用 `\begin{figure}[H]` 命令前声明 `\restylefloat` 命令。不过, 使用 float 宏包提供的 [H] 选项会伴有下面的副作用:

- 如果当前页没有足够的空间放置一幅使用了 [H] 位置选项的图形的话, 该图形就会被置于下一页的顶部。然而, 如果当前页中有脚注, 它将会紧接在文本后排出, 而不是像通常那样置于页面的底部。这时用户必须在图形前面加上足够的空白以保证将脚注移到页面的底部。
- 由 float 宏包定义的图形环境总是将标题置于图形的下方。对于一般的图形来说不会有什么影响。但是, 它会影响如图 11-2 所示的那样标题在上方的图形, 如图 11-19 所示的那样标题在旁边的图形或其他比较复杂的图形的排放 (如图 11-4 所示)。

综上所述, 使用本章前面所介绍的通过定义 `\figcaption` 来得到不浮动的图形要比使用 float 宏包的 [H] 位置选项更好些。

11.6 边注图形

命令 `\marginpar` 可以用来生成边注。除非使用了 `\reversemarginpar` 命令, 边注一般放在页面的右边 (在 twoside 格式的文档中放在页面的外侧)。边注的宽度由长度 `\marginparwidth` 控制, 而与正文之间的水平距离由 `\marginparsep` 决定。

边注的第一行与包含它的正文文本的那一行对齐 (边注的第一行的参考点与当前基线对齐)。

边注不能分页, 如果一个边注太靠近页面的底部而无法排下时, 它会在页面的底边继续排出。如果前面一个边注干扰了后面的边注, 那么 LATEX 会把后面的边注向下移动, 但不会移到下一页。所以在最后完成排版前, 可能要调整一下边注的位置, 以防它离分页的地方太近。

由于 figure 环境不能在边注中使用, 所以无法直接得到浮动的边注图形。这时, 可以用第 11.5 节介绍的通过定义 `\figcaption` 来构造非浮动的边注图形。例如, 边注图可由下面的命令得到:

```
...to construct a non-floating marginal figure.
\marginpar{\centering
```

^⑩ float 宏包允许用户生成新的浮动对象, 如 Program, Algorithm 等。也可以定制加框的和加线条的浮动式样。

```

\includegraphics[width=\marginparwidth]{graphics.eps}%
\figcaption{这是一个边注图形}
\label{fig:marginalfig}}

```

For example, Figure~\ref{fig:marginal:fig} was...

边注图的基线要与包含 `\marginpar` 的正文文本的那一行对齐。对于使用边注图形, 需要注意的是:

- 由于边注图形都比较窄小, 使用 `caption2` 宏包的标题式样 `flushleft` 或 `flushright` 可能会得到更好的效果。此外, `caption2` 宏包的命令

```
\renewcommand{\captionfont}{\small}
```

可使标题的字体变小。详见第 11.4 节。

- 同 11.5 节所介绍的非浮动图形一样, 边注图形会在未处理的浮动图形前排出。因此, 如果希望图形按顺序出现, 必须在边注之前使用 `\clearpage` 或 `\FloatBarrier` 命令。
- 边注的处理机制和浮动图表的处理机制一样, 所以如果使用了太多的浮动图表和边注, 就可能超出 LATEX 所允许的未处理的浮动对象的数目。这时使用 `morefloat` 宏包是一种解决办法。具体见第 11.1.4 节。

11.7 宽图形的处理

排版的易读性规则限制了一行文本中的字符个数, 如果不是使用大字体或双列版式, 就会使得页面的边空很大。在第 11.6 节中展示了边空可以用来放置边注图形。另外也可以用来得到扩展到一边或两边边空的宽图形。这可通过在浮动图形环境中嵌套一个很宽的列表环境来实现。例如, 可以在导言区加入下列代码来定义一个 `narrow` 环境:

```

\newenvironment{narrow}[2]{%
  \begin{list}{ }{%
    \setlength{\topsep}{0pt}%
    \setlength{\leftmargin}{#1}%
    \setlength{\rightmargin}{#2}%
    \setlength{\listparindent}{\parindent}%
    \setlength{\itemindent}{\parindent}%
    \setlength{\parsep}{\parskip}}%
  \item[ ]{\end{list}}

```

之后, 所有位于 `\begin{narrow}{lin}{2in}` 和 `\end{narrow}` 之间的文本都被向左缩进 1 英寸, 向右缩进 2 英寸。当使用负长度时, 文本就会延伸到边空上去。

11.7.1 单面版式中的宽图形

在使用单面版式排版时, 页面左右的边空不会因奇偶页而取不同的值, 故可以不用考虑图形浮动到奇数页或偶数页的问题。下面的命令利用前面定义的 `narrow` 环境使得图形左边

延伸到左边空的 1 厘米。排版结果如图 11-14 所示。

```
\begin{figure}
  \begin{narrow}{-1cm}{0cm}
    \includegraphics[width=\linewidth]{wide.eps}
    \caption{这是一个宽图形}
  \end{narrow}
\end{figure}
```

A Very, Very Wide Graphics

这是一个宽图形

图 11-14 单面版式中的宽图形

这里给定宽度参数为 `\linewidth`，使得图形的宽度和 `narrow` 环境的宽度相等。若给定宽度参数为 `\textwidth`，则会使图形的宽度和原来的正文宽度一样。

当使用边注时，可能希望宽图形精确延伸到边注的边界（使得图形的宽度为 `\textwidth + \marginparwidth + \marginparsep`）。这时，可以定义一新长度 `\marginwidth`，并将它设为 `\marginparwidth + \marginparsep`。例如：

```
\newlength{\marginwidth}
\setlength{\marginwidth}{\marginparwidth}
\addtolength{\marginwidth}{\marginparsep}
```

接着在 `\begin{narrow}` 中使用 `-\marginwidth` 来达到目的。

11.7.2 双面版式中的宽图形

在使用双面版式排版时，页面左右的边空因奇偶页而取不同的值，且使用宽图形时常常希望图形延伸到装订的那一边（奇数页的左边，偶数页的右边）。在这种情形下，需要使用 `ifthen` 宏包提供的 `\ifthenelse` 命令来根据图形出现在奇数页或偶数页而使用不同的命令。例如：

```
\usepackage{ifthen}
...
\begin{figure}
  \ifthenelse{\isodd{\pageref{fig:wide}}}{%
    {% BEGIN ODD-PAGE FIGURE
    \begin{narrow}{0cm}{-1cm}
```

```

\includegraphics[width=\linewidth]{file.eps}
\caption{Figure Caption}
\label{fig:wide}
\end{narrow}
}% END ODD-PAGE FIGURE
{% BEGIN EVEN-PAGE FIGURE
\begin{narrow}{-1cm}{0cm}
\includegraphics[width=\linewidth]{file.eps}
\caption{图形标题 }
\label{fig:wide}
\end{narrow}
}% END EVEN-PAGE FIGURE
\end{figure}

```

结果如图 11-15。由于 `\ifthenelse` 使用命令 `\pageref` 作为输入, 所以需要 LATEX 运行足够的次数后才能正确地排出。

A Very, Very Wide Graphics

图形标题

图 11-15 双面版式中的宽图形

11.8 横排的图形

在竖排的文档中, 有三种方法来得到横排的图形。

(a) `lscap` 宏包提供了一个 `landscape` 环境, 将纸张的左边界作为页面的顶部, 使得在此环境中的文本、表格和图形都被横排。

(b) `rotating` 宏包提供了一个 `\sidewaysfigure` 环境, 与 `figure` 环境相似, 只是其中的图形被横排。

(c) `rotating` 宏包提供了一个 `\rotcaption` 命令, 与 `\caption` 命令相似, 只是标题被横排。

以上三种方法的区别:

- 方法 (a) 和 (b) 将横排的图形放到单独的一页上, 而方法 (c) 则并不需要单独一页来放置浮动对象。

- 方法 (b) 只是将其中的图形横排, 而方法 (a) 则将位于 landscape 环境中的任何文本、图形和表格都横排在一页中。landscape 环境具有分页的能力, 可连续生成多个横排页面^⑭。
- 使用方法 (b) 得到的整页的图形可以浮动以求得最佳排版效果, 而方法 (a) 得到的图形是不能浮动的^⑮。
- 因为方法 (a) 和 (c) 使用 figure 环境, 所以它们可以和 endfloat 宏包 (参见第 11.3.5 节) 一起使用。

11.8.1 Landscape 环境

landscape 宏包 (包括在标准的 LATEX 图形宏包套件中) 定义了 landscape 环境, 允许在竖排的文档中放置横排页。横排页被旋转使得竖排页的左边界成为其顶部。

输入命令 `\begin{landscape}` 使得所有未处理的竖排的浮动对象被排出, 并开始横排页; 同样地, 输入命令 `\end{landscape}` 使得所有未处理的横排的浮动对象被排出, 并重新回到竖排状态。

所有位于 landscape 环境中的内容都会被横排。如果只有包含一个浮动图形环境, 则执行下列命令。

```
\begin{landscape}
  \begin{figure}
    \centering
    \includegraphics[width=4in]{graphics.cps}
    \caption{landscape 环境的横排图形 }
  \end{figure}
\end{landscape}
```

这时会得到横排图形。不过, 由于 landscape 开始一新页, 可能会导致页面出现很大空白。

11.8.2 Sidewaysfigure 环境

rotating 宏包提供了 sidewaysfigure 环境来生成横排的图形。例如, 执行下列命令:

```
\begin{sidewaysfigure}
  \centering
  \includegraphics[width=4in]{graphics.cps}
  \caption{Sidewaysfigure 环境的横排图形 }
\end{sidewaysfigure}
```

也可以得到横排图形。

^⑭ landscape 环境能很好地与 longtable 宏包配合, 从而得到连续多页横排的超长表格。

^⑮ 在 landscape 环境中声明的浮动图形只能在横排页中浮动。

与 landscape 环境不同, 由 sidewaysfigure 得到的图形可在竖排页中浮动, 以避免出现过多空白的页面。相反 landscape 环境则有更大的灵活性, 允许横排页中有文本、表格和图形等。

sidewaysfigure 排出的图形的外观在默认情况下是由文档使用 oneside 或 twoside 版式所决定的。

- 当使用 oneside 时, 图形的底部面向竖排页的右边界。
- 当使用 twoside 时, 图形的底部面向竖排页的外边界。

在调入 rotating 时, 使用宏包选项可以改变上述默认行为。如:

```
\usepackage[figuresleft]{rotating}
```

使得用 sidewaysfigure 排出的图形的底部面向竖排页的左边界 (无论是 oneside 还是 twoside)。同样,

```
\usepackage[figuresright]{rotating}
```

使得用 sidewaysfigure 排出的图形的底部面向竖排页的右边界。

11.8.3 旋转标题命令 Rotcaption

用第 11.8.1 节和第 11.8.2 节的方法得到的横排图形都是放在一单独的横排页上的。不过对于比较小的图形来说, 显然没有必要。这种情况下, 可以利用 rotating 宏包中的 \rotcaption 来得到小的横排图形。例如:

```
\begin{figure}
  \centering
  \begin{minipage}[c]{1in}
    \includegraphics[angle=90, width=\textwidth]{graphics.eps}
  \end{minipage}
  \begin{minipage}[c]{0.5in}
    \rotcaption{旋转标题}
    \label{fig:rotcaption}
  \end{minipage}
\end{figure}
```

得到图 11-16。

\rotcaption 命令生成的标题总是旋转使得其底部面向页面的右边界。与第 11.8.1 节和第 11.8.2 节的方法不同的是, \rotcaption 并不旋转图形。因此上例中的 \includegraphics 命令需要使用 angle=90 这一选项。

11.9 标题在一边的图形

一般图形的标题放置在其上方或下方。本节将介绍怎样将标题放置在图形的旁边^④。第

^④ 因为 float 宏包定义的 figure 环境中, 标题固定在图形的下方, 因此无法使用它来得到置于图形旁边的标题。只要没有声明 \restylefloat 命令, 其他 float 宏包的命令都可使用。



图 11-16 旋转标题例子

11.9.1 节介绍了将标题置于图形左侧的方法，同样地也可将标题置于图形的右侧。对于双面版式的文档，第 11.9.2 节介绍了将标题置于图形内侧（奇数页中为图形的左侧，偶数页中为图形的右侧）的方法。

11.9.1 图形左侧标题

`\caption` 命令一般将标题置于图形或表格的下方。可以利用小页环境来欺骗 `\caption` 命令，从而使它把标题放在图形的一侧。例如，执行下列命令：

```
\begin{figure}
  \centering
  \begin{minipage}[c]{.45\textwidth}
    \centering
    \caption{标题在图形的左侧}
    \label{fig:side:caption}
  \end{minipage}%
  \begin{minipage}[c]{.45\textwidth}
    \centering
    \includegraphics[width=\textwidth]{graphics.eps}
  \end{minipage}
\end{figure}
```

得到如图 11-17 的结果。在小页之间加入像 `\hfill` 或 `\hspace{.05\textwidth}` 的水平距离可能会更好些。

图 11-17 中标题和图形垂直居中。如果想让图形和标题顶部对齐或底部对齐，可参见第 10.2.4 节。

11.9.2 图形内侧标题

上节图 11-17 中将标题放在图形的左侧，而对于双面版式的文档，常常会希望将标题置于图形的内侧。这时可用 `ifthen` 宏包的 `\ifthenelse` 命令来指定对奇数页和偶数页所使用的

标题在图形的左侧



Graphics

图 11-17 标题在图形的左侧例子

不同代码。例如：

```
\usepackage{ifthen}
...
\begin{figure}
\centering
\ifthenelse{\isodd{\pageref{fig:side:caption}}}{
  {% BEGIN ODD-PAGE FIGURE
\begin{minipage}[c]{.45\textwidth}
\centering
\caption{标题在图形的内侧 }
\label{fig:side:caption}
\end{minipage}%
\hspace{0.05\textwidth}%
\begin{minipage}[c]{.45\textwidth}
\includegraphics[width=\textwidth]{graphics.eps}
\end{minipage}%
}% END ODD-PAGE FIGURE
{% BEGIN EVEN-PAGE FIGURE
\begin{minipage}[c]{.45\textwidth}
\includegraphics[width=\textwidth]{graphics.eps}
\end{minipage}%
\hspace{0.05\textwidth}%
\begin{minipage}[c]{.45\textwidth}
\centering
\caption{标题在图形的内侧 }
\label{fig:side:caption}
\end{minipage}%
}% END EVEN-PAGE FIGURE
```

```
\end{figure}
```

生成的图形其标题总在图形的内侧。如图 11-8 所示。

标题在图形的内侧

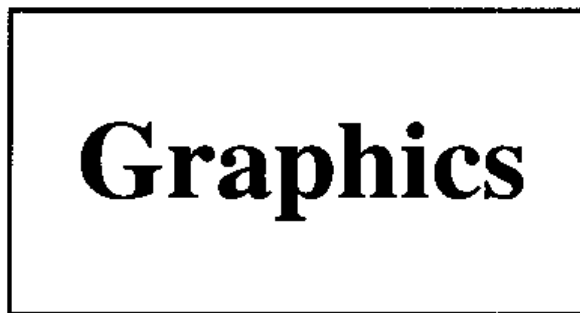


图 11-18 标题在图形的内侧例子

11.9.3 Sidecap 宏包

利用前面两节介绍的方法可以得到标题在一侧的图形。如果希望有更多的灵活性，那么使用 sidecap 宏包将更为简单方便。

当在 sidecap 宏包提供的 SCfigure 环境中使用 \caption 命令时，标题会被自动地放置于图形的一侧。例如：

```
\usepackage{sidecap}  
...  
\begin{SCfigure}  
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}  
  \caption{这是一个 SideCap 图形}  
\end{SCfigure}
```

结果如图 11-19 所示。

这是一个 SideCap 图形

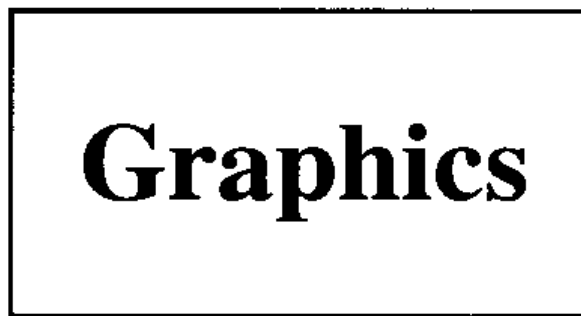


图 11-19 一个 SideCap 图形例子

sidecap 宏包在用 \usepackage 调入时有下面 4 个可选项：

- outercaption 标题在偶数页中出现在左侧, 奇数页中出现在右侧。这也是 sidecap 宏包的默认选项。
- innercaption 标题在偶数页中出现在右侧, 奇数页中出现在左侧。
- leftcaption 标题总出现在左侧。
- rightcaption 标题总出现在右侧。

Scfigure 环境包括下面两个可选参数:

- 第一个可选参数指定标题对于图形的相对宽度。一个大的值 (如 100) 会让标题使用最大可能的宽度。默认值为 1。
- 第二个可选参数指定图形的浮动位置选项。如 [htp] 或 [lht] 等, 详见第 11.1.2 节。

11.10 奇偶页中的图形

图形环境的浮动放置算法不能控制图形出现在奇数页还是偶数页。要实现控制浮动图形的奇数或偶数页放置, 必须使用 afterpage 宏包的 `\afterpage` 命令和 ifthen 宏包的 `\ifthenelse` 命令。

将图形置于 figure 环境, 可能会使得在偶数页中声明的图形被浮动到奇数页中。反之, 使用第 11.5 节中定义的 `\figcaption` 命令则可在不用 figure 环境的情况下生成图形。

```
\makeatletter
\newcommand\figcaption{\def\@captype{figure}\caption}
\makeatother
```

使用 `\ifthenelse` 命令可用来将出现在奇数页上的图形放到下一偶数页上。这需要重复一次插图命令, 一次是对应于下一页为奇数页的情况, 另一次则对应于下一页为偶数页的情况。为简便起见, 首先定义一个 `\leftfig` 命令:

```
\newcommand\leftfig{%
  \vspace*{\fill}%
  \centering
  \includegraphics{graphics.eps}
  \figcaption{This is on the left (even) page.}
  \vspace*{\fill}\newpage}
```

接下来就可以用这个新定义的命令和 `\afterpage`, `\ifthenelse` 命令一起来生成一幅只出现在偶数页上的图形。

```
\afterpage{\clearpage%
  \ifthenelse{\isodd{\value{page}}}{%
    {\afterpage{\leftfig}}%
    {\leftfig}}
```

几点说明:

- 欲使图形只出现在奇数页上, 掉换一下 `\ifthenelse` 的参数顺序即可。

```
\afterpage{\clearpage%
           \ifthenelse{\isodd{\value{page}}}{%
{\leftfig}}%
{\afterpage{\leftfig}}}
```

- `\value{page}` 总是正确的, 而 `\pageref` 只有在 LATEX 的交叉引用时才正确。
- 当图形较大时, 可能会出现在图形中间 (图形与标题之间) 分页的情况。这时可将它放到一个小页环境中以保持它的完整性。

```
\newcommand\leftfig{%
\vspac{*}{\fill}%
\begin{minipage}{\textwidth}
\centering
\includegraphics{graphics.eps}
\figcaption{This is on the left (even) page.}
\end{minipage}
\vspac{*}{\fill}\newpage}
```

- `\afterpage` 命令在极少数情况下会造成一个 “lost float” 的错误, 这时将 `\clearpage` 从 `\ifthenelse` 前去掉可能会有所帮助。

```
\afterpage{\ifthenelse{\isodd{\value{page}}}{%
{\afterpage{\leftfig}}%
{\leftfig}}}
```

- 在上面的例子中, 图形是占据了完整的一个偶数页。要将其置于偶数页的顶部, 可以修改或去掉 `\vspac{*}{\fill}` 和 `\newpage` 命令。

```
\newcommand\leftfig{%
\centering
\includegraphics{graphics.eps}
\figcaption{This is at the top of the left (even) page.}
\vspac{\floatsep}}
```

11.10.1 迎面页图形

在双面版式的文档中, 为消除浮动图形间差别, 常常希望将图形放在迎面页 (facing page) 上。为达到这一目的, 仍需使用与前两节中相似的方法。为简单起见, 定义命令 `\facingfigures` 如下:

```
\newcommand\facingfigures{%
\vspac{*}{\fill}%
\centering}
```

```

\includegraphics{left.eps}
\figcaption{This is on the left (even) page.}
\vspace*{\fill}\newpage\vspace*{\fill}%
\centering
\includegraphics{right.eps}
\figcaption{This is on the right (odd) page.}
\vspace*{\fill}\newpage

```

这时可用 `\facingfigures` 与 `\afterpage`, `\ifthenelse` 一起来生成迎面页图形。

```

\afterpage{\clearpage%
\ifthenelse{\isodd{\value{page}}}{%
{\afterpage{\facingfigures}}}%
{\facingfigures}}

```

11.11 盒子中的图形

盒子中的图形通常指下面两种情形:

- 图形在盒子中, 但其标题在盒子之外。
- 图形及其标题都在盒子中。

将某一对象置于盒子中的最基本的方法是把它放到 `\fbox` 命令中, 这样会将该对象用一长方形的框围起来。fancybox 宏包提供了不同式样的盒子。

11.11.1 图形在盒子中

把 `\includegraphics` 命令放到 `\fbox` 中会使所插入的图形置于一个带框盒子中。例如:

```

\begin{figure}
\centering
\fbox{\includegraphics[totalheight=2in]{file.eps}}
\caption{盒子包含图形, 但不包含图题情形}
\label{fig:boxed_graphic}
\end{figure}

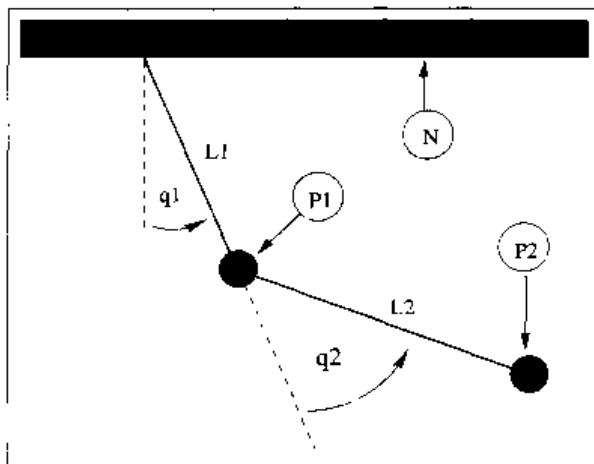
```

如图 11-20 所示, 图形被置于一带框盒子中。

11.11.2 图形与标题均在盒子中

要将图形与标题均置于盒子中, 也许有人想当然地以为把 `\caption` 命令也放到 `\fbox` 命令中即可。然而, 由于 `\caption` 命令只能在段落模式中使用, 而 `\fbox` 命令中的内容是在 LR 模式中被处理的^②, 所以这样做不行。

^② LATEX 使用三种模式: LR 模式、段落模式和数学模式。



盒子包含图形，但不包含图题情形

图 11-20 图形在盒子里，图题在盒子外的例子

因为小页环境的内容和 `\parbox` 命令都使在段落模式中处理，所以将 `\fbox` 命令的内容放到小页环境或 `\parbox` 命令中，就可以把 `\caption` 包含在 `\fbox` 中，由于小页环境和 `\parbox` 命令都必须给出它们的宽度，故没有直接的办法让 `\fbox` 和图形及其标题一样宽，例如下列命令：

```
\begin{figure}
  \centering
  \fbox{\begin{minipage}{4in}
    \centering
    \includegraphics[totalheight=2in]{pend.eps}
    \caption{图形与标题均在盒子中}
    \label{fig:boxed_figure}
  \end{minipage}}
\end{figure}
```

得到如图 11-21 所示的排版效果，其中图形与标题都置于盒子中。

一般通过不断的修改来确定小页环境的宽度，从而使得盒子能够恰好围住图形和标题。下面的这些方法可以避免枯燥麻烦的修改尝试。

- (1) 选择一个确定的小页的宽度，使得图形的宽度与其相同。

```
\includegraphics[width=\textwidth]{pend.eps}
```

- (2) 当指定图形的高度时，适当的小页的宽度可以通过把图形放到一个盒子中，然后计算盒子的宽度来得到。

```
\newsavebox{\mybox}
\newlength{\mylength}
\sbox{\mybox}{\includegraphics[height=3in]{file.eps}}
\settowidth{\mylength}{\usebox{\mybox}}
```

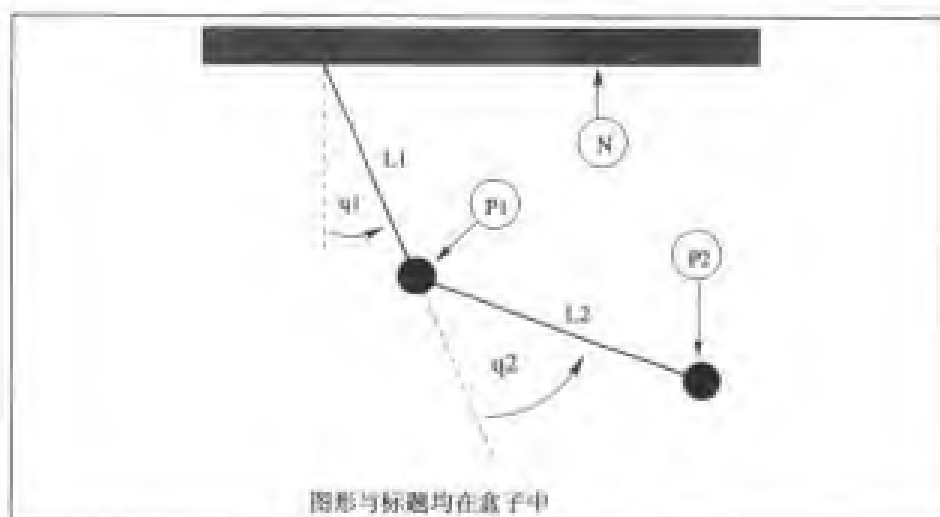


图 11-21 图形与标题均在盒子中例子

```

\begin{figure}
  \centering
  \fbox{\begin{minipage}{\mylength}
    \centering
    \usebox{\mybox}
    \caption{Box Around Figure Graphic and Caption}
    \label{fig:boxed_figure}
  \end{minipage}}
\end{figure}

```

(3) 为保证标题只有一行, 可以使用 `\settowidth` 命令来估计标题的宽度, 并将其作为小页的宽度。

```

\newlength{\mylength}
\settowidth{\mylength}
  {Figure XX: Box Around Figure Graphic and Caption}
  \fbox{\begin{minipage}{\mylength}
...

```

11.11.3 定制 fbox 的参数

在图 11-20 和 11-21 中, 盒子由厚为 0.4pt 的直线围成, 在框线和图形之间有 3pt 的距离。这些参数值都可以通过 `\setlength` 命令设置 LATEX 的长度变量 `\fboxrule` 和 `\fboxsep` 来加以修改。例如, 执行下列命令:

```

\begin{figure}
  \centering
  \setlength{\fboxrule}{3pt}

```

```

\setlength{\fboxsep}{1cm}
\fbox{\includegraphics[totalheight=2in]{pend.eps}}
\caption{图形在 Customized 盒子中例子}
\label{fig:boxed.custom}
\end{figure}

```

可这使得盒子的边框线厚为 3pt 且其与图形间的距离为 1 厘米。如图 11-22 所示。

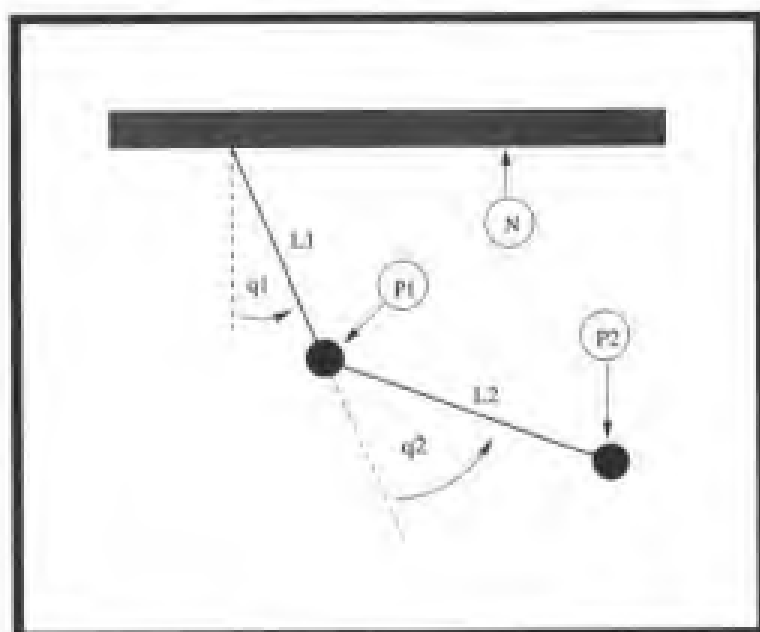


图 11-22 图形在 Customized 盒子中的例子

11.11.4 Fancybox 宏包

在图 11-20、图 11-21 和图 11-22 中，用 `\fbox` 命令将图形包围在标准的长方形框盒子中。要想使用不同类型的盒子，可使用 `fancybox` 宏包。它提供了 `\shadowbox`，`\doublebox`，`\ovalbox` 和 `\Ovalbox` 四个命令。如表 11.8 所示。


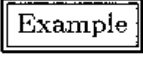
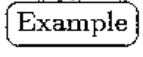
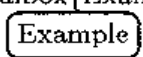
如同 `\fbox` 命令一样，这些盒子命令中的内容与边框间距由 LATEX 长度 `\fboxsep` 控制。长度 `\shadowsize` 可用 `\setlength` 命令来设定。而 `\ovalbox` 和 `\Ovalbox` 命令中的边框线厚度对应于 `picture` 环境中的 `\thinlines` 和 `\thicklines` 的值，由于它们不是长度，所以无法用 `\setlength` 来设定。这两个值依赖于当前字体的大小和形状，默认值分别为 0.4pt 和 0.8pt。例如：

```

\begin{figure}
\centering
\shadowbox{
\begin{minipage}{3.5 in}
\centering
\includegraphics[totalheight=1.5in]{pend.eps}

```

表 11.8 FancyBox 命令

$\backslash\text{shadowbox}\{\text{Example}\}$ 	<ul style="list-style-type: none"> 盒子边框线厚度为 $\backslash\text{fboxrule}$ 盒子阴影厚度为 $\backslash\text{shadowsize}$ (默认值为 4pt)
$\backslash\text{doublebox}\{\text{Example}\}$ 	<ul style="list-style-type: none"> 内框线厚为 $0.75\backslash\text{fboxrule}$ 外框线厚为 $1.5\backslash\text{fboxrule}$ 内外框之间的距离为 $1.5\backslash\text{fboxrule}+0.5\text{p}$
$\backslash\text{ovalbox}\{\text{Example}\}$ 	<ul style="list-style-type: none"> 盒子边框线厚度为 $\backslash\text{thinlines}$ 使用 $\backslash\text{cornersize}\{x\}$ 四个角的直径设为 x 乘以盒子宽和高之间较小的那个。默认值为 0.5 使用 $\backslash\text{cornersize}*\{x\}$ 命令直接将四个角的直径设为 x。如 $\backslash\text{cornersize}*\{1\text{cm}\}$ 将四个角的直径设为 1 厘米
$\backslash\text{Ovalbox}\{\text{Example}\}$ 	除了盒子边框线厚度为 $\backslash\text{thicklines}$ 外, 均与 $\backslash\text{ovalbox}$ 一样

```

\caption{阴影的盒子将图形与标题包围起来}
\end{minipage} }
\end{figure}

```

用一个带阴影的盒子将图形与标题包围起来, 如图 11-23 所示。

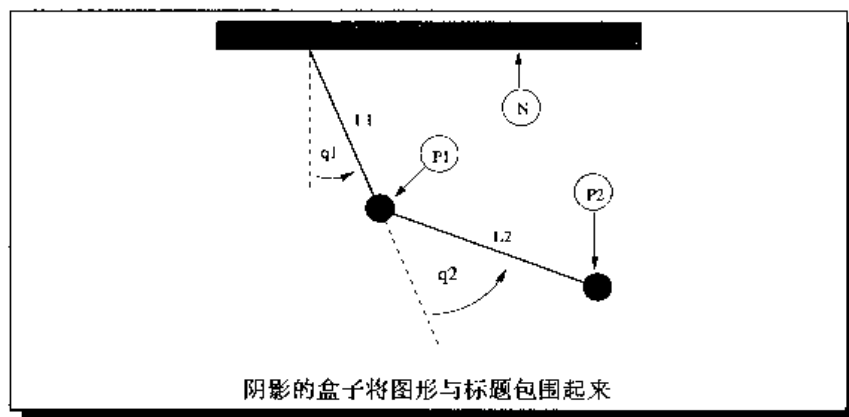


图 11-23 阴影的盒子将图形与标题包围起来的例子

11.12 并列的图形

使图形并列所需的命令依赖于用户到底想怎样来组织图形。本节主要讨论三种常见的并

列图形。

(1) 多个图形并列于一个图形环境中。

(2) 多个并列的浮动图形，如图 11-26 和 11-27 共同所示的情形。

(3) 一个图形环境中各个子图的平行排列。如图 11-32 所示，其中有子图 (a)，(b) 并列排。

本节将用下列两种方法来生成上述三种并列图形。

(1) 连续使用 `\includegraphics` 命令。

(2) 并列的小页环境，其中每个都包含一 `\includegraphics` 命令。

熟悉第 11.9.3 节的内容在构造多个并列的浮动图形非常重要。并列的浮动图形是通过将盒子 (`\includegraphics` 或小页) 平行放置在一条线上而得到的。

11.12.1 图形环境中的并列图形

尽管使用并列的小页环境能够让那些并列的图形更好地对齐，但连续使用多个 `\includegraphics` 命令是生成并列图形的最简单的方法。

下面的命令：

```
\begin{figure}
  \centering
  \includegraphics[width=1in]{graphics.eps}%
  \hspace{1in}%
  \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
  \caption{一幅图中包含两个图}
\end{figure}
```

得到如图 11-24 所示的并列图形。4 英寸宽，居中放置。其中的 `\hspace` 命令可用 `\hfill` 来代替，使得将图形推向页面的两边边界（参见第 10.1.2 节）。



一幅图中包含两个图

图 11-24 并列图形的例子

将 `\includegraphics` 命令放到小页环境中可以让用户更好地控制图形的对齐方式。例如：

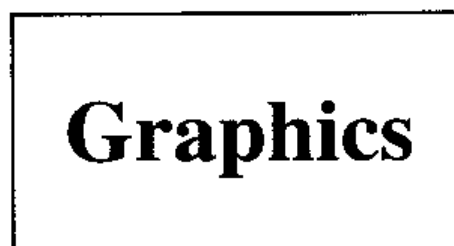
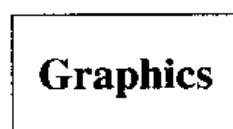
```
\begin{figure}
  \centering
```

```

\begin{minipage}[c]{0.5\textwidth}
  \centering \includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\end{minipage}%
\begin{minipage}[c]{0.5\textwidth}
  \centering \includegraphics[width=2in]{graphics.eps}
\end{minipage}
\caption{图形中间对齐}
\end{figure}

```

效果如图 11-25 所示, 其中的图形是中间对齐的。



图形中间对齐

图 11-25 图形中间对齐的例子

对于这个例子, 需要注意以下几点:

- 如同其他 LATEX 对象, 小页在放置时, 它的参考点和当前基线对齐。默认小页使用 [c] 选项, 将参考点置于其竖直方向的中点。其他的选项如 [t], [b] 等的含义与使用技巧可参见第 10.2.4 节。
- 在第一个 `\end{\minipage}` 后面的 “%” 是防止在两个小页盒子中间加上一个字符间距, 详见第 10.1.2 节。
- 当几个并列小页的宽度之和没有达到 `1.0\textwidth` 时, 可用 `\hspace` 或 `\hfill` 来确定水平间距, 详见第 10.1.2 节。

11.12.2 并列的浮动图形

在上一节中, 通过在一个图形环境中使用多个小页环境, 可得到一个由多幅图形组成的浮动图形。若将 `\caption` 命令放到每个小页环境中, 则每个小页环境就生成一浮动图形。例如:

```

\begin{figure}
  \begin{minipage}[t]{0.5\linewidth}
    \centering
    \includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
    \caption{小盒子} \label{fig:side:a}
  \end{minipage}%
  \begin{minipage}[t]{0.5\linewidth}

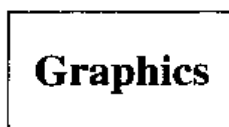
```

```

\centering
\includegraphics[width=1.5in]{graphics.eps}
\caption{大盒子} \label{fig:side:b}
\caption{Big Box} \label{fig:side:b}
\end{minipage}
\end{figure}

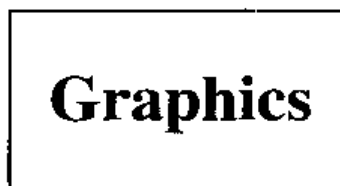
```

生成如图 11-26 和图 11-27 所示的效果。尽管上面的命令只使用了一个 figure 环境，但由于每个小页中都包含一个 \caption 命令，所以仍然得到两个浮动图形。



小盒子

图 11-26 并列的浮动图形 (I)



大盒子

图 11-27 并列的浮动图形 (II)

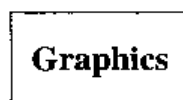
在图 11-26 和图 11-27 中，并列的小页环境使用了 [t] 选项，使得两幅图形的基线对齐。这对于非旋转的图形没有任何问题，而且使得两标题的顶部对齐。不过，如果图形的底部不对齐（如其中一图形被旋转），就会发生问题。例如：

```

\begin{figure}
\centering
\begin{minipage}[t]{.33\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=2cm]{graphics.eps}
\caption{带有长标题的盒子}
\end{minipage}%
\begin{minipage}[t]{.33\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=2cm, angle=-30]{graphics.cps}
\caption{旋转盒子}
\caption{Rotated Box}
\end{minipage}%
\end{figure}

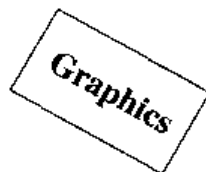
```

生成如图 11-28 和图 11-29 所示的结果，我们可以看到这里两幅图形的标题并不对齐。而只使用小页的 [b] 选项，就会使得标题的最后一行对齐，但并不能解决问题。



带有长标题的盒子

图 11-28 并列的浮动图形 (图形底部不对齐, I)



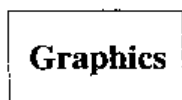
旋转盒子

图 11-29 并列的浮动图形 (图形底部不对齐, II)

一种解决办法是在小页环境中把图形和标题分开放到两行中: 第一行放置图形, 第二行放置标题。例如:

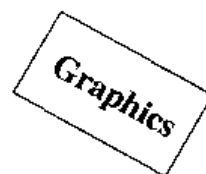
```
\begin{figure}
  \centering
  \begin{minipage}[b]{.33\textwidth}
    \centering
    \includegraphics[width=2cm]{graphics.eps}
  \end{minipage}%
  \begin{minipage}[b]{.33\textwidth}
    \centering
    \includegraphics[width=2cm,angle=-30]{graphics.eps}
  \end{minipage}\\[-10pt]
  \begin{minipage}[t]{.33\textwidth}
    \caption{带有长标题的盒子 }
  \end{minipage}%
  \begin{minipage}[t]{.33\textwidth}
    \caption{旋转盒子 }
  \end{minipage}%
\end{figure}
```

生成的的效果如图 11-30 和和 11-31 所示, 图形的基线和标题的第一行分别对齐。



带有长标题的盒子

图 11-30 并列的浮动图形 (图形底部对齐, I)



旋转盒子

图 11-31 并列的浮动图形 (图形底部对齐, II)

在这个例子中, 需要注意:

- 在最后一幅图后面用 “\\” 来断行, “\\” 的参数项 [-10pt] 使得图形与标题之间的距离比当前行距减少 10pt。这样做是让图形和标题更接近些, 用户也可自己选用合适的值。
- 包含图形的小页使用 [b] 选项, 使得它们的参考点为其最后一行的基线。
- 包含标题小页使用 [t] 选项, 使得它们的参考点为其第一行的基线。
- 任何一个 \label 命令都必须和它相应的 \caption 命令在同一个子页中。

11.12.3 并列的子图形

在某些情况下, 有时希望将并列的图形组成一组, 而其中的每一幅图都保持其独立性。paufigure 宏包的 \subfigure 命令将这一组做为·一幅图形, 其中的每一幅图做为子图形。例如, 执行下列命令:

```
\begin{figure}
  \centering
  \subfigure[带有长标题的小盒子]{
    \label{fig:subfig:a} %% label for first subfigure
    \includegraphics[width=1.0in]{graphics.eps}}
  \hspace{1in}
  \subfigure[大盒子]{
    \label{fig:subfig:b} %% label for second subfigure
    \includegraphics[width=1.5in]{graphics.eps}}
  \caption{两个子图}
  \label{fig:subfig} %% label for entire figure
\end{figure}
```

生成如图 11-32 所示的效果。这里使用 LATEX 的引用命令 \ref{fig:subfig:a} 得到图 11-32(a), \ref{fig:subfig:b} 得到图 11-32(b), \ref{fig:subfig} 得到图 11-32。



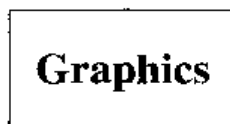
图 11-32 并列的子图形

11.12.3.1 在小页环境中使用子图

像其他的并列图形一样, 子图也可以在小页环境中使用。而且在某些情况下, 这样做还能更方便地得到理想的图形间距。例如:

```
\begin{figure}
  \subfigure[带有长标题的小盒子]{
    \label{fig:mini:subfig:a} %% label for first subfigure
    \begin{minipage}[b]{0.5\textwidth}
      \centering \includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
    \end{minipage}}%
  \subfigure[大盒子]{
    \label{fig:mini:subfig:b} %% label for second subfigure
    \begin{minipage}[b]{0.5\textwidth}
      \centering \includegraphics[width=1.5in]{graphics.eps}
    \end{minipage}}
  \caption{小页环境内的子图}
  \label{fig:mini:subfig} %% label for entire figure
\end{figure}
```

得到图 11-33, 其中包括两个子图 (a) 和 (b)。



(a) 带有长标题的小盒子



(b) 大盒子

小页环境内的子图

图 11-33 在小页环境中使用子图

图 11-33 中的子图标题比图 11-32 中的要宽一些。这是因为子图标题的宽度和子图的宽度相同, 图 11-32 中的子图只包含图形, 而图 11-33 中的子图包含了宽度为 0.5 textwidth 的小页。

11.12.3.2 改变子图的标记

子图的标记有两种形式:

(1) 一种是出现在子图的下面, 作为标题的一部分。这可通过命令 `\@thesubfigure` 来生成。

(2) 另一种是在使用 `\ref` 命令的时候出现。将命令 `\p@subfigure` 的输出处理后传递给 `\thesubfigure` 命令来生成。

上面的这些命令使用 `subfigure` 计数器和 `\thefigure` 命令。子图标记的格式由下面的命令来控制。

- 命令 `\thefigure` 印出当前图形的编号。
- 计数器 `subfigure` 记录子图的编号，命令 `\alph{subfigure}` 将计数器 `subfigure` 的值用小写字母印出，而命令 `\roman{subfigure}` 则是用小写罗马数字印出。
- 命令 `\thesubfigure` 默认使用小写字母，如 (a)，(b) 等。
- 命令 `\@thesubfigure` 默认为 `\thesubfigure\space`，即在标题标记和文本之间加上一个空白。
- 命令 `\p@subfigure` 默认为 `\thefigure`。

下面几个简单的例子给出了如何改变子图标题的标记、字体等的默认值：

(1) 若想让子图标题标记使用小写罗马数字，如 (i)，(ii) 等，`\ref` 命令的结果，如 12i，12ii 等，可使用下面的命令（最好放在导言区中）：

```
\renewcommand{\thesubfigure}{\roman{subfigure}}
\makeatletter
\renewcommand{\@thesubfigure}{(\thesubfigure)\space}
\renewcommand{\p@subfigure}{\thefigure}
\makeatother
```

(2) 若想让子图标题标记使用阿拉伯数字，如 “12.1:”、“12.2:” 等，`\ref` 命令的结果，如 12.1，12.2 等，可使用下面的命令：

```
\renewcommand{\thesubfigure}{\thefigure.\arabic{subfigure}}
\makeatletter
\renewcommand{\@thesubfigure}{\thesubfigure:\space}
\renewcommand{\p@subfigure}{ }
\makeatother
```

11.12.3.3 加子图到图形目录

默认情况下，用 `\listoffigures` 命令生成的图形目录中只包括图形，而不包括子图。要想在图形目录中包括子图，则需在 `\listoffigures` 命令前加上

```
\setcounter{lofdepth}{2}
```

需要说明的是，由于 L^AT_EX 的变化，使得目前版本 (3/95) 的 `subfigure` 宏包在图形目录的子图输入项开始部分都加上 “numberline1”。将下面的代码加到导言区中就可以解决这一问题。

```
\makeatletter
\renewcommand{\@subcaption}[2]{%
\begin{group}
```

```

\let\label\@gobble
\def\protect{\string\string\string}%
\edef\@subfigcaptionlist{%
\@subfigcaptionlist,%
{\numberline {\@currentlabel}}%
\noexpand{\ignorespaces #2}}}%
\end{group}
\@nameuse{@make#1caption}{\@nameuse{@the#1}}{#2}}
\makeatother

```

11.13 堆叠图形

在第 11.12 节中, 通过将几个盒子并排放置在一行中来得到并列图形。堆叠图形 (stacked graphics) 也可用同样的方法来生成。例如:

```

\begin{figure}
\centering
\begin{minipage}[b]{0.3\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\caption{标题 1}
\end{minipage}%
\hspace{0.04\textwidth}%
\begin{minipage}[b]{0.3\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\caption{标题 2}
\end{minipage}\\[20pt]
\begin{minipage}[b]{0.3\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\caption{标题 3}
\end{minipage}%
\hspace{0.04\linewidth}%
\begin{minipage}[b]{0.3\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\caption{标题 4}
\end{minipage}%

```

```

\hspace{0.04\linewidth}%
\begin{minipage}[b]{0.3\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=1in]{graphics.eps}
\caption{标题 5}
\end{minipage}
\end{figure}

```

可得到堆叠图形。

11.14 图形与表格的平行排列

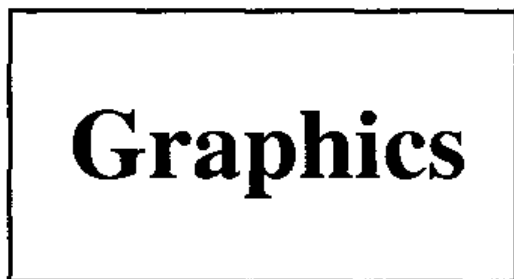
在第 11.12 节中, 通过在一个 figure 环境中使用多个 \caption 命令来得到并列的多个图形。同样地, 在一个 table 环境中使用多个 \caption 命令可将多个表格平行排列。若想使表格和图形平行排列在一起, 可使用第 11.5 节中定义的命令 \figcaption 和 \tabcaption。例如下面的命令:

```

\begin{figure}[htb]
\begin{minipage}[b]{0.5\textwidth}
\centering
\includegraphics[width=0.8\textwidth]{graphics.eps}
\caption{这是一个表在旁边的图}
\label{fig:by:table}
\end{minipage}%
\begin{minipage}[b]{0.5\textwidth}
\centering
\tabcaption{这是一个图在旁边的表}
\label{table:by:fig}
\begin{tabular}{cc} \hline
Day & Data \\ \hline
Monday & 14.6 \\
Tuesday & 14.3 \\
Wednesday & 14.2 \\
Thursday & 14.5 \\
Friday & 14.9 \\ \hline
\end{tabular}
\end{minipage}
\end{figure}

```

用一个 figure 环境生成了并排放置的图 11-34 和表 11.9。



这是一个表在旁边的图

图 11-34 图形与表格的平行排列之图形

表 11.9 图形与表格的平行排列之表格

这是一个图在旁边的表

Day	Data
Monday	14.6
Tuesday	14.3
Wednesday	14.2
Thursday	14.5
Friday	14.9

因为 LATEX 允许图形的浮动不必考虑其前后表格的顺序, 所以在 figure 环境中使用命令 `\tabcaption` 可能会将表格放置到尚未处理的浮动图形前面。同理, 在 table 环境中使用命令 `\figcaption` 可能会将图形放置到尚未处理的表格前面。这种情况下, 可以在图形环境前使用 `\FloatBarrier` 命令, 清除其前面尚未处理的浮动图形。

11.15 连续图形

当两个相邻的图形关系较为密切时, 常常希望具有相同的图形编号。因为计数器 figure 中记录了下一个图形的编号, 所以可在图形环境前减低 figure 的值使得两幅图形具有相同的编号。例如:

```
\addtocounter{figure}{-1}
\begin{figure}
```

不过, 这样做会使得两幅图形无法被正确区分, 导致如 LATEX 的引用等的混乱情况。

构造连续图形的最好的方法是使用 subfigure 宏包。这样既可以使连续的几幅图形具有相同的编号, 如“图 12”, 且其中的每幅图形也有自己的标记, 如“图 12(a)”等。由于连续的子图位于不同的 figure 环境, 所以在两个图形环境之间, 必须减少计数器 figure 的值。

```
\addtocounter{figure}{-1}
```

同时, 必须在第二幅子图前加上子图的计数器 subfigure。

```
\addtocounter{subfigure}{1}
```

例如, 下面的命令得到两个连续的子图。

```
\begin{figure}
  \centering
  \subfigure[第一部分]{%
    \label{fig:graphics:a}% label for subfigure
```

```

\includegraphics[width=\textwidth]{file1.eps}}%
\end{figure}
\addtocounter{figure}{-1}
\begin{figure}
\addtocounter{subfigure}{1}
\centering
\subfigure[第二部分]{%
\label{fig:graphics:b}% label for subfigure
\includegraphics[width=\textwidth]{file2.eps}}%
\caption{大图形}%
\label{fig:graphics}% label for figure
\end{figure}

```



A Very, Very Wide Graphics

(a) 第一部分



A Very, Very Wide Graphics

(b) 第二部分

图 11-35 大图形

在这一例子中，每个图形环境中只有一个子图。而当像第 11.12.3 节中那样每个图形环境中有多个子图时，就需要根据第一个图形环境中子图的个数来相应地调整计数器 `subfigure` 的增加值。另外，由于连续图形都是不同的浮动对象，所以有可能不出现在连续的页面上。如果这样，可在最后一幅连续图形后使用命令 `\FloatBarrier` 来强迫 LATEX 将连续图形放置在一起。

第 12 章 错误信息及其处理

输入完 LATEX 源文件之后，调用 LATEX 程序之前，请最好检查一下源文件。除非运气好，否则编译时系统会出错。出错是很正常的，即使对一个经常使用 LATEX 软件的人来说也难免。通常产生错误主要有两个方面，一是将 LATEX 命令拼写错误；二是将命令用错地方。本章将介绍一些常见的错误及其处理方法。

12.1 常见错误和处理

刚开始学习 LATEX 的读者在输入文件时容易产生下列错误：

1. 忘记输入反斜杠符 `\`，系统没有执行该命令。
2. 系统在产生一些特殊保留字符（如 `#`，`$`，`%`，`&`，`-`，`{`，`}`）时，忘记加反斜杠命令符。
3. 拼错了环境名和命令名。
4. 在文章中，而不是在数学状态下使用了数学符号，如乘方符号。制作上标时写成了：`... project ^ {1}..`，应该写成：`... project $ ^ {1}$...`。
5. 漏掉了下列最基本的三条命令之一：

```
\documentstyle  
\begin{document}  
\end{document}
```

如果忘掉了最后一条命令，则编译出错时可以用键盘输入这条命令来完成编译。

6. 命令符 `$...$` 和命令符 `{...}` 不配对。对 LATEX 源文件来说，控制数学状态的 `$` 符总是成对出现，若少了一个，系统编译就会出错。编译时系统会提示出错的行，请把 `$` 符加上。另一个容易出错的地方是花括号不配对，当系统编译出错时检查花括号配对是一件很麻烦的事，因为在数学公式中有时花括号多达几十个。在系统提示某行出错时，可以用笨的也是最简单的办法数一下左括号和右括号的数目是否相等，如果相等则再检查提示行的前后行，最后找到出错的地方。对于一些版本较低的 LATEX 软件，当一行出错时会产生连环错，整个屏幕都会显示出错信息而无法看清。这时可打开扩展名为 `Log` 的文件，它会给出屏幕信息，当然这很不便。据说已有更好的软件能直接找到不配对的花括号。目前我们用的 2.09 版本能提示出错的行。为了避免这些错误，读者在输入源文件时，请一对一对地输入，像写 C 语言程序的方式，这样不易出错，而且容易改错。

12.2 错误信息的解释

在编译源文件时，如果发生错误，则系统会给出大量的信息。其中大多信息只是那些专门写 LATEX 或 TEX 的人感兴趣的，读者只需关心出错的行号就可以，例如在编译文件 rr2.tex 时系统显示了下列信息：

```
LATEX error. See LATEX manual for explanation.
      Type H <return>for immediate help.
! Environment fig undefined.
\@latexer ... diat help.}\errmessage {#1}
                                         \endgroup1.30\begin{fig}

?
```

以惊叹号开始的第三行表明了确切的错误是不存在环境名命令 fig，第四行完全是一些技术信息，读者不必关心，第五行表示在文本的第一页第三十行的命令 \begin{fig} 有错误，这可方便源文件的修改，最后一行的问号代表系统等待处理。假如敲入 H，则系统显示的信息是：

```
Your command was ignored.
Type I<command><return> to replace it with another command.
or <return> to continue without it
?
```

这代表命令不起作用，按回车键则又返回到 30 行的错误处，如果再强行按下回车键，可能出现连锁错误如下：

```
! Extra }, or forgotten \endgroup
\endfigure- > \egroup
          \ifnum \@floatpenalty < \z@ \@cons \@c ...
\end #1- > \csname end#1 \endcsname
1. 33\end{figure}
?
```

这样 33 行的命令也出错了。有时一些重要的命令在反复按回车键后会被忽略，最后也产生了 .dvi 文件，你同样可以看到你的输出文件，但是和源文件中命令的要求不一样，比较源文件和输出文件可找到出错的地方。

在出错时可以不断按回车键把所有的错误显示出来，然后一起在源文件中修改，但因为有连环错的问题，最好在问号提示下输入 E 或输入 X 退出编辑，系统显示：

```
You want to edit file rr2.tex at line 30
No pages of output
```

>

然后按提示在出错行处修改。若有 TEX 的错误, 请参考第 12.4 节。LATEX 提供了一些错误信息, 下一节是错误信息简介。

12.3 错误信息简介

(1) ! Bad \line or \vector argument.

这是绘图错误, 在 \line 和 \vector 命令中的第一个变量不合适。

(2) ! Bad math environment delimiter.

在数学环境中既使用了数学环境的命令 “\[”, 又使用了 “\()”。在标准课文中用了数学环境的结束命令 “\]”。

(3) ! Bad use of \\

不能用 \\ 命令在自然段间强行换行增加纵向留空, 请用 \vskip 命令留空。

(4) ! \begin{... } ended by \end{... }.

这是使用了不正确配对的环境命令, 通常是拼写错了环境名或是环境嵌套的次序错了。

(5) ! Can be used only in preamble.

命令 \documentstyle, \includeonly, \makeindex, \makeglossary 和 \nofiles 只能在 \begin{document} 命令前使用。

(6) ! Command name ... already used.

例如, 由 \newtheorem, \newenvironment, \newlength, \newsavebox 和 \newtheorem 定义的宏命令名只能被定义一次。不能用同样的命令名定义两次。

(7) ! Counter too large.

字母计数不能超过 26, 如用符号 (如 *, † 等) 则给出的序号太大。如果一页中脚注太多便可能产生这个错误, 文章中过多的 \thanks 命令也会引起这个错误。

(8) ! Environment...undefined.

环境没有被定义, 通常是拼错了环境名或是环境嵌套次序出错。

(9) ! Float(s) lost.

图表等被丢掉, 在小页 (minipage) 里或 \parbox 中使用了图表环境或 \marginpar 命令。

(10) ! Illegal character in array arg.

在矩阵和制表环境中或在 \multicolumn 中的第二个变量中用了不正确的字符。

(11) ! Missing \begin{document}.

在 \begin{document} 命令前就开始排印, 有可能是遗忘 \begin{document} 命令或是前言部分命令有误, 比如丢失大括号或前导符。

(12) ! Missing p-arg in array arg.

在数组环境、制表环境的参数中或在 \multicolument 命令的第二个参数中, 有一个“p”后面没有跟一个放在大括号中大表达式。

(13) ! Missing @-exp in array ary.

在数组环境、制表环境的参数中或在 `\multicolumn` 命令的第二个参数中，有一个“@”，后面没有跟一个 @ - 表达式。

(14) ! No such counter.

在输入 `\addtocounter` 和 `\setcounter` 命令前忘记建立一个新的计数。

(15) ! Not in outer par mode

在数学状态下，不要使用图表命令。

(16) ! \pushtabs and \poptabs don't match.

在制表环境中 `\pushtabs` 和 `\poptabs` 命令不配对。

(17) Something's wrong-

在列项环境中可能丢掉了命令 `\item`。这表明此命令是 LATEX 不理解的奇怪命令。

(18) ! Tab overflow.

在制表环境中用了命令 `\=`，结果超过了最大允许的制表点数。

(19) ! There's no line here to end.

误用了 `\\` 命令在段落之间留空，请用命令 `\vspace`。

(20) ! This may be a LATEX bug.

LATEX 系统有一点缺陷，这很少见，能发现它是运气好。

(21) ! Too deeply nested.

在列项环境中，LATEX 通常允许四层列项。

(22) ! Too many unprocessed floats.

在一页中不能放下一个大的环境（例如，制大表格时候或者是有太多的图表环境时会发生这样的错误），请减小它的尺寸或环境的数目。

(23) ! Undefined tab position.

在制表命令中忘记用 `\=` 命令定义制表位置。

(24) ! \< in mid line.

在制表命令中 `\<` 命令只能用在行的开始。

(25) ! Double subscript.

诸如 $x_{\{1\}\{2\}}$ 类的错误， x_{1_2} 应写为 $x_{\{1\}\{2\}}$ 。

(26) ! Double superscript.

诸如 $X^{\{2\}\{3\}}$ 类的错误， X^{2^3} 应写为 $X^{\{2\}\{3\}}$ 。

(27) ! Extra alignment tab has been changed by \cr.

在数组环境或制表环境中的行中有超过定义的太多列项，也就是在一行中有了多余的“&”号。带来这个错误的原因可能是用户在前一行的末尾忘记使用“`\\`”命令。

(28) ! Extra} or forgotten \$.

大括号 `{ }` 或数学公式符号 `$` 不匹配，用户可能遗漏一个。

(29) ! font ... not loaded; no enough room left.

TEX 系统用于有效字库的内存空间已满，不能容纳新的字库，用户可以将排版源文件写成几个子文件来解决这个问题。

(30) ! I Can't find file

LATEX 系统没有发现它所需要读入的文件。这个错误的原因可能是 `\input` 或 `\include` 命令的参数写错, 或者是用户在 `\documentstyle` 命令中给出了一个错误的风格名, 在发出上述错误信息后, TEX 系统在屏幕上显示:

Please type another input name:

在后面输入正确的文件名并按回车键后可改正这个错误。

(31) ! Illegal parameter number in definition of ...

在 `\newcommand`, `\renewcommand`, `\newenvironment`, `\renewenvironment` 命令中的参数用法发生错误, 这些命令的参数以 “#” 号加一个数字组成。

(32) ! Illegal unit of measure 0pt inserted

如果用户刚遇到一个

!Missing number, treated as zero.

错误, 那么这是同样的错误, 否则, 意味着 LATEX 系统发现了一个没有写长度单位的距离, 最常见的错误是在需要写 0in 的地方仅写了一个数字 0。这时, 系统自动插入 pt 作为单位。有些命令在缺少参数时也可能发生这个错误。

(33) ! Misplaced alignment tab character &.

特殊符号 “&” 只能用于在数组环境和制表环境中分隔各列项, 在普通正文中使用 “&” 会发生这个错误, 在 “?” 后, 用 “`\&`” 命令可以改正这个错误。

(34) ! Missing control sequence inserted

`\newcommand`, `\renewcommand`, `\newlength` 或 `\newsfacebox` 命令的第一个参数不是正确的命令名称。

(35) ! Missing number, treated as zero.

在需要长度做参数的命令中, 丢失了参数或只写了单位没写数字; 在具有长度可选项的命令中丢失了中括号 “[”]; 将 `\protect` 命令置于一个长度命令或一个产生数字的命令 (如 `\value`) 前都会带来这类错误。

(36) ! Missing { inserted

(37) ! Missing } inserted

LATEX 系统发现 “{” 或 “}” 不匹配, 发出错误信息的位置可能不是真正有错误的地方。

(38) ! Missing \$ inserted.

TEX 系统在非数学模式下发现了只能在数学模式下使用的命令。在数学模式中有一个空行也可能发生同样的错误。

(39) ! Not a letter .

`\hyphenation` 命令的参数有错。

(40) ! Paragraph ended before ... was complete.

在命令参数里出现了空行。这通常是由于用户遗忘结束命令参数的大括号 “}” 引起的。

(41) ! \scriptfont ... is undefined (character ...)

! \scriptscriptfont ... is undefined (character ...)

! \textfont ... is undefined (character ...)

这三个错误通常是由在数学模式下使用不常用的字库引起的。比如，用 `\sc` 字体做数学公式的下标。解决这个错误的方法是 `\load` 命令，如：

```
\load{\footnotesize}{\sc}
```

(42) ! LATEX capacity exceeded, sorry [...].

这个错误是 LATEX 系统的某个内存空间溢出造成的。在正常情况下，这个错误很少发生。由于 LATEX 系统很少在只有几页的排版过程中发生错误，因此可以把用户源文件分成一些更小的文件。如果这类错误依然存在，那么可以肯定用户源文件中有错误。在错误信息的后面列出了哪种内存空间溢出了。下面列出了最常见的部分：

(i) buffer size: 章节命令，`\caption`，`\addcontentslist`，或者 `\addtocontents` 命令的参数太长，带来这个错误，这个错误要到系统遇到 `\end{document}` 命令时才会在屏幕上显示出来。尽管它已在执行 `\tableofcontents`，`\listoffigures` 或者 `\listoftables` 命令时已发生了。改正这个错误的方法是在上述命令中使用更为短小的参数。

(ii) Exception dictionary: 使用的 `\hyphenation` 命令太多。用户可以去掉一些不太常用单词的 `\hyphenation` 命令，并以 `\-` 命令解决这个单词的断行问题。

(iii) Hash size: 用户自定义的命令过多或交叉引用的标号太多。

(iv) Input stack size: 这个错误通常发生在定义命令时，如下面的例子：

```
\newcommand{\gnu}{a \gnu}
```

这种循环定义会很快使系统的“输入栈”溢出。

(v) Main memory size: LATEX 系统的主存溢出，发生这个错误的原因可能有一种：

- 定义了过多的很长、很复杂的命令；
- 在一页上使用 `\index` 或 `\glossary` 过多；
- 当前页过于复杂以至于在主存空间里容纳不下这页的所有信息。

前两种原因带来的错误很容易克服：尽量少定义命令和少用 `\index` 或 `\glossary` 命令。第三种原因的错误解决起来就可能复杂一些，错误的真正原因可能是过大的 `tabbing`，`tabular`，`array` 或 `picture` 环境，当用户有过多的浮动图表时也可能发生这类错误。

为了确定错误是否是由上述原因造成的，可以在出错位置前加一个 `\clearpage` 命令，再次运行 LATEX 系统。如果错误消失，则是排版过程耗尽系统内存。如果错误依然存在，说明用户源文件中有另外的错误。

要是内存溢出，需对排版过程加上人工干预。如可以在溢出的页加上 `\newpage` 人工换页，就能减少排版使用的内存；如果是由于浮动图表带来的错误，尽量使它们远离文件尾或将它们改成非浮动的。

(vi) Pool size: 用户可能使用了过多的交叉引用标号或定义了过多的新命令，更精确地说，标号和新命令名的字符太多。解决这类错误的方法是使用更短小的引用标号和新命令名。另外，`\newenvironment`，`\newtheorem` 命令和有关计数器的命令（如 `\setcounter`）中丢失参数最后的大括号也会带来此类错误。

(vii) Save size: 这个错误由命令、环境或定义嵌套的层数过多引起。

(43) ! Text line contains an invalid character.

在用户源文件中有不应出现的怪字符，这往往同用户所使用的编辑软件有关，应尽量使用不自动往文件中插入控制符的编辑器。

(44) ! Undefined control sequence.

TEX 系统遇到一个不认识的命令名。用户文件中可能有拼写错误, 这时可以在“?”提示符后用“I”命令修改拼写错误, 也可以退出系统后编辑源文件。某些命令放错位置(如在列表环境外使用 `\item` 命令) 或丢失 `\documentstyle` 命令也会带来此类型错误。

(45) ! Use of ... doesn't match its definition.

如果“...”是一个 LATEX 系统命令, 那么它可能在一个带有一个参数的图形命令中有一个句法错误, 如果是 `\@array` 命令与其定义不符, 那么是在 `array` 环境或 `tabular` 环境参数的 `@` 表达式有错误。

(46) ! You can't use macro parameter character '#' in ... mode.

用户在正文中使用特殊字符“#”, 其实这时应该用“I”命令修改或退出系统编辑源文件。

12.4 LATEX 的警告错误

有时当你编译 LATEX 或 TEX 源文件时, 系统会产生警告性的错误。警告错误不会妨碍编译完成而产生 `.dvi` 文件。警告性的错误通常有两类: 一是交叉引用、标记等没有定义; 二是横向和纵向排版溢出 (`\hbox` 和 `\vbox`)。

第一类的错误发生在交叉引用的信息还没有放在 `.aux`(辅助文件) 中或者是还没有辅助文件, 你必须编译两次: 第一次将交叉引用的信息存放在辅助文件中; 第二次编译时系统能将存放在辅助文件中的交叉引用信息一起编入, 而产生正确的输出文件。如果第二次编译还有警告性错误, 请检查一下源文件中是否有遗漏的标记和定义。

第二类错误是横向或纵向溢出。

下面分别给出这些警告错误的检测方法。

12.4.1 TEX 系统警告信息

产生 TEX 系统警告信息时并不停止排版操作及显示“?”提示符, 也不以“Tex warning”开头, 它只是在屏幕上显示并写入相应的 LOG 文件中, 本节列出了常用的 TEX 系统警告信息:

(1) `overfull \hbox`.

表明某行的最后一个单词不能用连字符正确地分割单词, 这样造成实际的行所占的宽度比设置的页宽要大, 这种现象不仅发生在课文中, 而且特别当公式较长时也容易发生。对于课文中的情况可以调整词的间距或替换单词来解决, 有时在一篇文章中很多行都有连字符并且分割不正确, 这时在一处调整一下单词后再编译一次就会产生满意的输出。长公式的排列请参考第 2 章和第 4 章中的 `\begin{eqnarray}` 环境, 用这个命令能避免横向溢出。

(2) `overfull \vbox`.

表明纵向溢出, 系统不能找到合适的地方进行分页, 这页的版心可能比定义的版心要小。如果在最后一行有公式不能分行也会引起不能正确分页, 可以在你要分页的地方用 `\pagebreak` 强行进行分页。

(3) `underfull \vbox`.

这意味着有额外的纵向留空, 这个错误常常由于误用 `\\` 和 `\newline` 命令, 只需修改这些命令就行了。

(4) Underfull \hbox ...

这个错误通常由 “`\\`” 命令或 “`newline`” 命令造成的, 如两个连续的 “`\\`” 命令等。另外, `sloppypar` 环境, `\sloppy` 声明或 `\linebreak` 命令可能引起这个警告信息。

12.4.2 LATEX 系统警告信息

LATEX 系统警告信息以 “LATEX 系统 warning” 开头, 以下列出了所有 LATEX 系统警告信息:

(1) Citation ‘...’ on page ... undefined.

`\cite` 命令中的关键字没有用 `\bibitem` 命令定义过。

(2) Label ‘...’ multiply defined.

两个 `\label` 或 `\bibitem` 被赋予了相同的名称。

(3) Label (s) may have changed. Rerun to get cross reference right.

用 `\ref`, `\pageref` 和 `\cite` 命令打印出来的数字可能会有错, 因为要通过两次运行 LATEX 系统, 这些数字才被修改正确。

(4) Marginpar on page ... moved.

一个边注可能在页面上向下移动了一段距离以避开同上一个边注发生重叠, 所以这个边注有可能不能与出现 `\marginpar` 命令的正文对齐。

(5) Oval too small.

一个 `\oval` 命令定义了一个比 LATEX 系统所能绘制的最小圆角矩形还要小的圆角矩形, 这时不能得到用户所需要的圆角矩形, 绘制图形结果可能不太美观。

(6) Reference ‘...’ on page undefined.

`\ref` 命令或 `\pageref` 命令使用的参数未用 `\label` 命令定义过。

附录 A 一篇中文文章源文件的输入样板

```
\documentstyle[11pt,twoside,headrule]{article}
\input{epsf.sty}
%=====Page Format=====
\headsep=4mm\headheight=6mm\topmargin=0pt
\oddsidemargin=0pt\evensidemargin=0pt
\textheight=215truemm\textwidth=145truemm\footskip=0pt
\setcounter{page}{257}
\def\thefootnote{\}%\nofiles
\renewcommand{\baselinestretch}{1.15}
\renewcommand{\arraystretch}{1.1}
\begin{document}
\arraycolsep=1.5pt
\abovedisplayskip=5.8pt plus 1pt minus 3pt
\belowdisplayskip=5.8pt plus 1pt minus 3pt
\zihao{5}\ziju{0.05}\parindent=2\ccwd
%-----Definitions-----
\def\ST{\songti\rm\relax}
\def\HT{\heiti\bf\relax}
\def\FS{\fangsong\rm\relax}
\def\KS{\kaishu\rm\relax}
\def\dpr{\displaystyle\prod} \def\dmin{\displaystyle\min}
\def\dlim{\displaystyle\lim} \def\dmax{\displaystyle\max}
\def\dcup{\displaystyle\bigcup} \def\dcap{\displaystyle\bigcap}
\def\dsup{\displaystyle\sup} \def\dinf{\displaystyle\inf}
\def\dint{\displaystyle\int} \def\dsun{\displaystyle\sum}
\def\va{\varepsilon} \def\la{\lambda} \def\ir{\kern-.25em R}
\def\oiint{\displaystyle\bigcirc\kern-3.2ex\int\kern-2ex\int}
\def\pmb#1{\mbox{\boldmath $#1$}} \def\text#1{\hbox{#1}}
\def\MCH#1#2{\setbox0=\hbox{\raise#1\hbox{#2}}\smash{\box0}}
\def\SEC#1{\vspace{0.5\baselineskip}\vbox{\vspace*{0.5\baselineskip}}
\centering\large\HT\zihao{-4}#1\vspace*{0.5\baselineskip}\rm}
\def\REF#1{\par\hangindent\parindent\indent\llap{#1\enspace}\ignorespaces}
\def\Cal#1{{\cal #1}}
\renewcommand{\thcequation}{\thesection.\arabic{equation}}
\def\disp{\displaystyle}
\renewcommand{\topfraction}{1}
\renewcommand{\bottomfraction}{1}
```



```
\renewcommand{\textfraction}{0}
\renewcommand{\floatpagefraction}{0}
\floatsep=20pt plus 5pt minus 2pt
\textfloatsep=20pt plus 5pt minus 2pt
\intextsep=20pt plus 5pt minus 2pt
\doublerulesep=0pt
%===== Page Head =====
\markboth
{\pushziti{\protect\kaishu\zihao{5}\hfill 排版软件 LATEX{} 简明手册(第二版)\hfill}\popziti}
{\pushziti{\protect\kaishu\zihao{5}\hfill 附录 I 一篇中文文章源文件的输入样板 \hfill}}
\popziti}
%===== Begin Document =====
\begin{center}\huge\ziti{E}\zihao{2}
Burgers 方程的混合元分析及其数值模拟 $\hat{\hspace{\footnotesize $*\! 1$ }}$
\normalsize \\[6truemm]
\FSt\zihao{-4} ||||| 罗振东 ||||| 刘儒勋 ||
\ST\zihao{6} ||||| （首都师范大学数学系） ||||| （中国科学技术大
学数学系） ||
\end{center}

\footnotetext{\zihao{6}\ST{$}* $ 1996 年 11 月 8 日收到。 }
\footnotetext{\zihao{6}\ST{$}$ 国家自然科学基金、北京市自然科学基金和科学与工程计
算国家重点实验室资助项目。 }


\begin{center}\large\bf
MIXED FINITE ELEMENT ANALYSIS AND NUMERICAL SIMULATION
FOR BURGERS EQUATION\end{center}
\vskip 1truemm
\begin{center} \small
Luo Zhen-dong\\
({\small\it
Department of Mathematics, Capital Normal University, Beijing})\\
{\small Liu Ru-xun}\\
({\small\it Department of Mathematics, University of Science and Technology
of China})
\end{center}

\begin{abstract}
In this paper, the 1-D Burgers equation is studied, the existence of its
mixed generalized solution and semi-discrete and fully discrete mixed finite
element solutions are discussed, and their error estimates are analyzed. And
finally, an example of numerical simulation of fully discrete mixed
finite element solution is also given.
```

```
\HT Keywords: Burgers equation, mixed element method, numerical\linebreak
\\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ simulation .
```

```
{\zihao{-5}\HT 关键词: Burgers 方程, 混合元法, 数值模拟. }
\end{abstract}
```

```
\SEC{1. 引言}
```

混合有限元法在高阶偏微分方程和含有两个 (或者两个以上) 的未知函数的偏微分方程的数值解的研究中起着重要的作用。但是, 到目前为止, 混合有限元法主要是用于 $2n$ 阶或一阶偏微分方程 (组), 如二阶椭圆型方程、平面弹性力学方程、双调和方程、Stokes 和 Navier-Stokes 方程、抛物型方程及电磁场方程 (参见 [1-9] 及当中的参考文献)。然而, 目前混合有限元法还没有被用于对非线性的 Burgers 方程做数值研究。而过去对 Burgers 方程的数值研究主要采用标准有限元法、差分方法和谱方法 (参见 [10-12] 及当中的参考文献)。

本文的目的是用混合有限元法去研究 Burgers 方程, 我们将给出一种新的混合有限元格式, 我们首先讨论 Burgers 方程的混合变分问题的广义解的存在惟一性 (见 §2), 然后分别给出半离散化 (见 §3) 和全离散化 (见 §4) 的混合有限元解的存在性和误差估计, 最后, 给出全离散化的混合有限元解的数值模拟例子 (见 §5), 从中, 我们可以体会到混合有限元法的优越性。

```
\SEC{2. Burgers 方程的广义解的存在惟一性}
```

```
\setcounter{section}{2}
\setcounter{equation}{0}
```

设 $\Omega=(a_1,b_1)$ 是一个有界开区间, 考虑下面的 Burgers 方程:

```
{\HT 问题 \bf(I). } \求 $u$ 使得 $\forall t_1>0$ 满足
\begin{equation}
\left\{\begin{array}{l}
u_t+au_x-\nu u_{xx}=0, \hspace{0.5cm} \&(x,t)\in \Omega\times (0,t_1), \\
u(x,t)=0, \hspace{0.5cm} \&(x,t)\in \partial\Omega\times (0,t_1), \\
u(x,0)=\varphi(x), \hspace{0.5cm} \&x\in \Omega.
\end{array}\right.
\end{equation}
\label{2.1}
\end{equation}
```

其中 u 表示速度, a 是正的常数, ν 是粘性常系数, $\varphi(x)$ 是已知初值函数。

设 $H^m(\Omega)$ 和 $L^2(\Omega)=H^0(\Omega)$ 表示通常的 Sobolev 空间和 Lebesgue 空间. 用 (\cdot, \cdot) 表示空间 $L^2(\Omega)$ 中的内积, 而且用 $\|\cdot\|_m$ 表示空间 $H^m(\Omega)$ 的范数, 其定义为:

```
\begin{equation}
\label{2.2}
\|v\|_m=[\sum\limits_{j=0}^m|(\frac{\partial}{\partial x})^jv|^2]^{1/2}
\end{equation}
```

$|^{1/2}, \forall v \in H^m(\Omega).$

$\end{equation}$

再用 $\|\cdot\|_{0,\infty}$ 表示空间 $L^\infty(\Omega)$ 的范数. 注意到 $H^1(\Omega) \hookrightarrow L^\infty(\Omega)$ 是连续的 (参见 [13]).

$H^m(\Omega)$ 的子空间 $H_{00}^m(\Omega)$ 表示为:

$H_{00}^m(\Omega) = \{v \in H^m(\Omega); \forall (\frac{\partial}{\partial x})^{iv}(a_1) = (\frac{\partial}{\partial x})^{iv}(b_1) = 0, 0 \leq i, m\}.$

特别地, $\forall v \in C(0, t_1; H^m(\Omega)),$ 记

$\|v\|_m = \sup_{0 \leq t \leq t_1} \|v(t)\|_m.$

由文献 [14] 可知, 当初值函数 $\varphi(x) \in H^m(\Omega), m \geq 2,$ 问题 (I) 存在惟一的解 $u,$ 而且对于满足 $m-j \geq 0$ 的整数 $j \geq 0$ 都有 $(\frac{\partial}{\partial t})^j u \in C(0, t_1; H^{m-j}(\Omega) \cap H_{00}^1(\Omega)).$

此外, 存在常数 $c(\|\varphi\|_m)$ 使得

$\begin{equation}$

$\label{2.3}$

$||(\frac{\partial}{\partial t})^j u||_{m-j} \leq c(\|\varphi\|_m).$

$\end{equation}$

令 $p = au^2/2 - \nu u_x$ (其物理意义为流函数), 则有

$(\frac{\partial}{\partial t})^j p \in C(0, t_1; H^{m-j-1}(\Omega)),$

$\begin{equation}$

$\label{2.4}$

$||(\frac{\partial}{\partial t})^j p||_{m-j-1} \leq c(\|\varphi\|_m).$

$\end{equation}$

于是, 问题 (I) 的混合变分问题的广义解为:

{\HT 问题 (I*):} 求 $(u, p): [0, t_1] \rightarrow M \times X$ 使得 $\forall t \in (0, t_1),$

$\begin{equation}$

$\left\{ \begin{array}{l} \end{array} \right.$

$(u, t, v) - (p, v_x) = 0, \forall v \in M, \forall$

$(p, \tau) + \nu(\tau, u_x) - (u^2, \tau)/2 = 0, \forall \tau \in X, \forall$

$u(x, 0) = \varphi(x), \forall x \in \Omega,$

$\end{array} \right.$

$\label{2.5}$

$\end{equation}$

其中 $M = H_{00}^1(\Omega), X = L^2(\Omega).$

讨论问题 (I) 的混合变分问题的广义解的存在性需下一个引理 (参见 [7]).

{\HT 引理 1. (Gronwall 引理)} 设 $g(t)$ 是在 $[0, t_1]$ 上可积而且几乎处处正的函数, $c \geq 0$ 为常数, 若 $\psi(t) \in C^0([0, t_1])$ 且满足不等式

$0 \leq \psi(t) \leq c + \int_0^t g(s) \psi(s) ds, \forall t \in [0, t_1],$

则 $\psi(t)$ 也满足

$\psi(t) \leq c \exp(\int_0^t g(s) ds)$, $\forall t \in [0, t_1]$, 且当 $c=0$ 时, $\psi(t) \equiv 0$

{\HT 定理 1.} \ 若 $\varphi(x) \in L^2(\Omega)$, 则问题 (I^*) 存在惟一的解 $(u, p) \in M \times X$, 而且存在 M_0 使得 $\|u\|_{L^2(\Omega)} \leq M_0$.

{\FS 证明.} \ 由于问题 (I) 存在惟一的解 u , 则 $(u, p) = (u, u^2/2 - \nu u_x)$ 是问题 (I^*) 的一个解. 在问题 (I^*) 中取 $\tau = u_x, v = u$, 而且注意到 $(u^2, u_x) = 0$ 可得

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|u\|_{L^2(\Omega)}^2 + \nu \|u_x\|_{L^2(\Omega)}^2 = 0.$$

上式两边从 0 到 t 积分而且由初始条件即得

$$\begin{aligned} & \|u\|_{L^2(\Omega)}^2 + 2\nu \int_0^t \|u_x\|_{L^2(\Omega)}^2 ds = \|\varphi\|_{L^2(\Omega)}^2. \\ & \end{aligned}$$

由 (2.6) 和一维的定积分性质 (可积必有界) 可知, 存在常数 C_0 使得

$$\begin{aligned} & \|u_x\|_{L^2(\Omega)} \leq C_0. \\ & \end{aligned}$$

再由 Sobolev 空间的嵌入定理 (参见 [3,15]) 可知, 存在 C_1 使得

$$\begin{aligned} & \|u\|_{L^\infty(\Omega)} \leq C_1 \|u_x\|_{L^2(\Omega)} \leq C_1 C_0 \equiv M_0. \\ & \end{aligned}$$

由上式即得 $\|u\|_{L^\infty(\Omega)} \leq M_0$.

令 (u^*, p^*) 为问题 (I^*) 的另一个解, 则有 $\|u^*\|_{L^\infty(\Omega)} \leq M_0$. 而由问题 (I^*) 可得

$$\begin{aligned} & (u_t - u^{*}_t) - (p - p^*, v_x) = 0, \quad \forall v \in M; \\ & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (p - p^*, \tau) + \nu (\tau, u_x - u^*_x) - a((u + u^*)(u - u^*), \tau) / 2 = 0, \quad \forall \tau \in X. \\ & \end{aligned}$$

取 $\tau = p - p^*, v = u - u^*$, 而且由 Hölder 不等式和 Cauchy 不等式有

$$\begin{aligned} & \frac{\nu}{2} \frac{d}{dt} \|u - u^*\|_{L^2(\Omega)}^2 + \|p - p^*\|_{L^2(\Omega)}^2 \\ & = a((u + u^*)(u - u^*), p - p^*) / 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \leq a M_0 \|u - u^*\|_{L^2(\Omega)} \|p - p^*\|_{L^2(\Omega)} \leq \frac{a M_0^2}{2} \|u - u^*\|_{L^2(\Omega)}^2 \\ & \quad + \frac{1}{2} \|p - p^*\|_{L^2(\Omega)}^2. \end{aligned}$$

\end{equation}

即得

\begin{equation}

\label{2.12}

\nu\displaystyle\frac{d}{dt}\|u-u^*\|_{L^2}+\|p-p^*\|_{L^2}\leq (aM_0)^2\|u-u^*\|_{L^2}.

\end{equation}

上式两边从 0 到 $t\in[0,t_1]$ 积分而且注意到 $(u-u^*)(0)=0$ 即得

\begin{equation}

\label{2.13}

\|u-u^*\|_{L^2}\leq \nu^{-1}(aM_0)^2\int_0^t\|u-u^*\|_{L^2}ds, \quad \forall t\in[0,t_1].

\end{equation}

则由引理 1 可得 $\|u-u^*\|_{L^0}=0$, 即得 $u=u^*$, 从而由 (2.12) 得 $\|p-p^*\|_{L^0}=0$, 即得 $p=p^*$. 定理 1 证毕.

\SEC{3. 半离散化的混合有限元解的存在性及其误差分析}

\setcounter{section}{3}

\setcounter{equation}{0}

设 $\mathcal{I}_m=\{[x_i, x_{i+1}]; 0\leq i\leq l-1, x_0=a_1, x_l=b_1\}$ 是 $\bar{\Omega}$ 的正规剖分 (意指: 这 l 个区间的长度相差不太大), 其中 $h=\max_{0\leq i\leq l-1}(x_{i+1}-x_i)$.

定义 M, X 的有限元子空间:

\label{3.1}

\begin{equation}

\left\{\begin{array}{l}

$M_h=\{v_h\in M; \quad \forall v_h\in P_{\kappa}(K), \quad \forall K\in\mathcal{I}_m\},$

$X_h=\{\tau_h\in X; \quad \forall \tau_h\in P_m(K), \quad \forall K\in\mathcal{I}_m\},$

\end{array}\right\}.

\end{equation}

其中 $m\geq 0$, $1\leq \kappa\leq m$, $P_r(K)$ 表示 K 上次数 $\leq r$ 的

\HT 注: 下面用到的 C 表示与剖分参数 h 和 k (时间步长, 参见 §4) 无关的一般常数.

利用投影性质及对偶原理 (参见 [3, 15]) 可得到下面两个引理:

\HT 引理 2. 存在算子 $P_h: M\rightarrow M_h$ 使得 $\forall v\in M$ 都有

$(v-P_h v, v_h)=0, \quad \forall v_h\in M_h,$

$\|P_h v\|_{L^0}\leq \|v\|_{L^0},$

而且当 $v\in H^r(\Omega)$ 时, 有

$\|v-P_h v\|_{L^0}\leq Ch^{r-s}\|v\|_{L^r}, \quad s\leq r\leq$

$\kappa+1.$

\HT 引理 3. 存在算子 $r_h: X\rightarrow X_h$ 使得 $\forall \tau\in X$ 都有

$$(\tau_{-r_h} \tau, \tau_h) = 0, \quad \forall \tau_h \in X_h;$$

$$(\tau_{-r_h} \tau|_0 \leq \|\tau\|_0)$$
 而且当 $\tau \in H^r(\Omega)$ 时, 有

$$\|(\tau_{-r_h} \tau|_s \leq C h^{r-s} \|\tau\|_r, \quad s=0, 1;$$

$$s \leq r \leq m+1.$$

$$\{\text{HT 推论 1.}\} \quad \forall v \in M \text{ 都有}$$

$$(v_{-r_h} v, \tau_h) = 0, \quad \forall \tau_h \in X_h.$$
 而且当 $v \in H^{r+1}(\Omega)$ 时, 都有

$$\|v_{-r_h} v|_0 \leq C h^r \|v\|_{r+1}, \quad 0 \leq r \leq m+1.$$

注意到 $\forall v \in M_h$ 有 $v_{-r_h} \in X_h$, 则由引理 3 容易验证 M_h 和 X_h 满足离散的 B-B. 条件:

$$\sup_{\tau_h \in X_h} \frac{(v_{-r_h}, \tau_h)}{\|\tau_h\|_0} \geq \beta \|v_{-r_h}\|_1, \quad \forall v_{-r_h} \in M_h,$$

其中 β 是与 h 无关的正常数. 下面的引理可参见 [7].

$$\{\text{HT 引理 4.}\} \quad \text{若 } \{a_n\}, \{b_n\}, \{c_n\} \text{ 是正数列, } \{c_n\} \text{ 是单调递增而且满足}$$

$$a_n + b_n \leq c_n + \lambda \sum_{j=0}^{n-1} a_j, \quad n \geq 1,$$

$$\lambda > 0; \quad a_0 + b_0 \leq c_0,$$
 则 $\|a_n + b_n\| \leq c_n \exp(\lambda n), \quad n \geq 0.$

考虑问题 (I*) 的下面半离散化形式:

$$\{\text{HT 问题 (I}_h\text{)}\} \quad \text{求 } (u_h, p_h): [0, t_1] \rightarrow M_h \times X_h \text{ 使得 } \forall t \in (0, t_1), \text{ 满足}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (u_{ht}, v_h) - (p_h, v_{hx}) = 0, \quad \forall v_h \in M_h; \\ (p_h, \tau_h) + \nu (u_{hx}, \tau_h) - a(u_h^2, \tau_h)/2 = 0, \quad \forall \tau_h \in X_h; \\ u_h(x, 0) = \varphi(x), \quad x \in \Omega. \end{array} \right.$$

$$\{\text{HT 定理 2.}\} \quad \text{若 } \varphi(x) \in L^2(\Omega), \text{ 则问题 (I}_h\text{) 存在惟一的解 } (u_h, p_h) \in M_h \times X_h. \text{ 而且存在与 } h \text{ 无关的常数 } M_1 \text{ 使得}$$

$$\|u_h\| + \|p_h\| \leq M_1 \|\varphi\|$$

$$\|u_h\|_{-0} \leq M_1.$$

$$\end{equation}$$

{FS 证明. } 设 $\{\phi_i\}_{i=1}^{r_1} \subset X_h$ 和 $\{\psi_i\}_{i=1}^{r_2} \subset M_h$ 是两组基, 并满足

$$\begin{equation}$$

$$(\phi_i, \phi_j) = \delta_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, r_1,$$

$$(\psi_i, \psi_j) = \delta_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, r_2.$$

$$\text{label}\{3.5\}$$

$$\end{equation}$$

记

$$\begin{equation}$$

$$\text{label}\{3.6\}$$

$$p_h = \sum_{j=1}^{r_1} g_j(t) \phi_j(x); \quad \backslash \backslash$$

$$u_h = \sum_{i=1}^{r_2} f_i(t) \psi_i(x).$$

$$\end{equation}$$

那么问题 (I_h) 可写为:

求 $f_i(t), i=1, \dots, r_2$ 和 $g_j(t), j=1, \dots, r_1$ 使得, $\forall t \in (0, t_1)$

$$\begin{equation}$$

$$\text{label}\{3.7\}$$

$$f_j' - \sum_{i=1}^{r_1} g_i(t) (\psi_{jx}, \phi_i) = 0, \quad \backslash$$

$$j=1, \dots, r_2;$$

$$\end{equation}$$

$$\begin{equation}$$

$$\text{label}\{3.8\}$$

$$\begin{array}{l} \{1\}$$

$$g_i(t) - a \sum_{s_1, s_2=1}^{r_2} f_{s_1}(t) f_{s_2}(t) (\psi_{s_1},$$

$$\psi_{s_2}, \phi_i) / 2 \quad \backslash \backslash$$

$$\hspace{1cm} + \sum_{s=1}^{r_2} f_s(t) (\psi_{sx}, \phi_i) = 0, i=1, \dots, r_1;$$

$$\end{array}$$

$$\end{equation}$$

$$\begin{equation}$$

$$\text{label}\{3.9\}$$

$$f_i(0) = a_i, \hspace{0.2cm} i=1, \dots, r_2, \hspace{1cm}$$

$$\hspace{2cm}$$

$$\end{equation}$$

其中 $a_i \in C([0, t_1])$ 由 $P_h \varphi = (a_1, \dots, a_{r_2}) \cdot (\phi_1,$

$$\dots, \phi_{r_2})$$
 确定. 将 (3.8) 代入 (3.7) 有

$$f_j'$$

$$\text{label}\{3.10\}$$

$$f_j' - a \sum_{i=1}^{r_1} \sum_{s_1, s_2=1}^{r_2} f_{s_1}(t) f_{s_2}(t) (\phi_{s_1},$$

$$\phi_{s_2}, \phi_i) (\psi_{jx}, \phi_i) = 0$$

$$\begin{equation}$$

```
\hspace{1cm} + \nu \sum \limits_{i=1}^{r_1} \sum \limits_{s=1}^{r_2} f_{s,i}(\psi_{s,i}),
\psi_{j,i}(\psi_{j,i}, \psi_{j,i})=0, \quad j=1, \dots, r_2.
\end{equation}
```

而 (3.10) 是关于 $f_1(t)$, $f_2(t)$, \dots , $f_{r_1}(t)$ 为未知函数的一阶非线性常微分方程组. 由常微分方程组的 Caratheodory 定理知, 方程组 (3.10) 和 (3.9) 在最大的区间 $[0, t_h]$ ($t_h \leq t_1$) 上存在一个解.

下面利用某些先验估计去证明: $t_h = t_1$. 在问题 (I_h) 中取 $v_h = u_h$, $\tau_h = u_{hx}$, 而且注意到 $(u_h, u_{hx}) = 0$ 可得

```
\begin{equation}
\label{3.11}
\displaystyle \frac{d}{dt} \|u_h\|_0^2 + 2\nu \|u_{hx}\|_0^2 = 0.
\end{equation}
```

对 (3.11) 从 0 到 t 积分, 而且由初始条件和引理 1 得

```
\begin{equation}
\label{3.12}
\|u_h\|_0 + \int_0^t \|u_{hx}\|_0^2 ds \leq \|P_h \varphi\|_0, \quad \forall t \in [0, t_1].
\end{equation}
```

这个估计保证了 (3.10) 和 (3.9) 的解不会在 $[0, t_1]$ 中断裂, 因此 (3.10) 和 (3.9) 在 $[0, t_1]$ 上存在整体解 $f_1(t)$, $f_2(t)$, \dots , $f_{r_2}(t)$. 将它们代入 (3.8) 得 $g_j(t)$, $j=1, 2, \dots, r_1$, 即问题 (I_h) 存在一个解 $(u_h, p_h) \in M_h \times X_h$. 由定积分的性质 (可积必有界) 及 (3.12) 可得

$$\|u_{hx}\|_0 \leq \bar{M}(\|\varphi\|_0).$$

再由嵌入定理 (参见 [3, 13]) 有

```
\begin{equation}
\label{3.13}
\|u_h\|_{-\infty} \leq C \|u_{hx}\|_0 \leq C \bar{M}(\|\varphi\|_0) \equiv M_1.
\end{equation}
```

与定理 1 的证明同理可证得问题 (I_h) 的解是惟一的. 定理 2 证毕.

在问题 (I*) 中取 $v = v_h$, $\tau = \tau_h$, 而且减去 (I_h) 得

```
\begin{equation}
\label{3.14}
(p - p_h, \tau_h) - a(u^2 - u_h^2, \tau_h)/2 + \nu(\tau_h, u_h - u_{hx})
= 0, \quad \forall \tau_h \in X_h;
\end{equation}
```

```
\begin{equation}
\label{3.15}
(u_h - u_{ht}, v_h) - (p - p_h, v_{hx}) = 0, \quad \forall \tau_h \in M_h.
\end{equation}
```

{\HT 定理 3.} 在定理 1-2 的条件下, 如果 $(u, p) \in H^{m+2}(\Omega) \times H^{m+1}(\Omega)$ 而且 $\varphi \in H^{m+2}(\Omega)$, $kappa = m+1 \geq 1$, 则下面估计成立:


```

\begin{equation}
\label{3.16}
|\!|\!|u-u_h|\!|\!|_{-1} \leq Ch^{m+1} |\!|\!|\varphi|\!|\!|_{-m+2}.
\end{equation}
\begin{equation}
\label{3.17}
|\!|\!|p-p_h|\!|\!|_0 \leq Ch^{m+1} |\!|\!|\varphi|\!|\!|_{-m+2}.
\end{equation}

```

{\FS 证明. } 由误差方程 (3.14)–(3.15) 和引理 2–3 可有

```

$$\begin{array}{l}
(u_t-u_{ht}, u-u_h) = (u_t-u_{ht}, u-P_hu) + (u_t-u_{ht}, P_hu-u_h) \\
= (u_t-u_{ht}, u-P_hu) + (p-p_h, (P_hu-u_h)_x) \\
= (u_t-u_{ht}, u-P_hu) + (p-p_h, (P_hu-u)_x) + (p-p_h, (u-u_h)_x) \\
= (u_t-u_{ht}, u-P_hu) + (p-p_h, (P_hu-u)_x) \\
+ (p-r_{hp}, (u-u_h)_x) + (r_{hp}-p_h, (u-u_h)_x) \\
= (u_t-P_hu_t, u-P_hu) + (p-p_h, (P_hu-u)_x) \\
+ (p-r_{hp}, u_x-r_{hu_x}) - \nu^{-1} (p-p_h, r_{hp}-p+p-p_h) \\
+ \nu^{-1} (u^2-u^2_h, r_{hp}-p+p-p_h)/2.
\end{array}
$$

```

从而由 H^1 不等式和 Cauchy 不等式有:

```

\begin{equation}
\label{3.18}
\begin{array}{l}
\displaystyle \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|u-u_h\|_0^2 + \nu^{-1} \|p-p_h\|_0^2 \leq \\
\displaystyle \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|u-P_hu\|_0^2 \\
+ C(\|u-P_hu\|_0^2 + \|p-r_{hp}\|_0^2 + \|u_x-r_{hu_x}\|_0^2) \\
+ (M_2^2 \nu^{-1} + \theta_0^2/2) \|u-u_h\|_0^2 + \nu^{-1} \|p-p_h\|_0^2/2,
\end{array}
\end{equation}

```

其中 $M_2 = \max\{M_0, M_1\}$, θ_0 是任意可以选取的常数. 则由上式可得

```

\begin{equation}
\label{3.19}
\begin{array}{l}
\displaystyle \frac{d}{dt} \|u-u_h\|_0^2 + \nu^{-1} \|p-p_h\|_0^2 \leq \\
\displaystyle \frac{d}{dt} \|u-P_hu\|_0^2 + C(\|u-P_hu\|_0^2 \\
+ \|p-r_{hp}\|_0^2 + \|u_x-r_{hu_x}\|_0^2) \\
+ (2M_2^2 \nu^{-1} + \theta_0^2) \|u-u_h\|_0^2.
\end{array}
\end{equation}

```

上式两边从 0 到 t 积分并注意到 $(u-P_hu)(0) = (u-u_h)(0) = \varphi-P_h\varphi$ 可得:

```

\begin{equation}

```

```

\label{3.20}
\begin{array}{l}
|u-u_h|_{L^2} + \nu^{-1} \|p-p_h\|_{L^2} \leq Ch^{2(m+1)} \|\varphi\|_{H^{m+2}}^2 \\
+ (2M_2^2 \nu^{-1} + \theta_0^2) \int_0^t |u-u_h|_{L^2}^2 ds.
\end{array}
\end{equation}

```

由 Gronwall 引理 1 可得:

$$\|u-u_h\|_{L^2} \leq Ch^{2(m+1)} \|\varphi\|_{H^{m+2}}^2,$$

即得

```

\begin{equation}
\label{3.21}
\begin{array}{l}
\|u-u_h\|_{L^0} \leq Ch^{m+1} \|\varphi\|_{H^{m+2}}.
\end{array}
\end{equation}
\begin{equation}
\label{3.22}
\begin{array}{l}
\|p-p_h\|_{L^0} \leq Ch^{(m+1)} \|\varphi\|_{H^{m+2}}.
\end{array}
\end{equation}

```

再由 (3.2) 和 (3.14) 可有:

```

\begin{equation}
\label{3.23}
\begin{array}{l}
|u-u_h|_{L^1} \leq |u-P_h u|_{L^1} + C|P_h u-u_h|_{L^1} \\
& \leq |u-P_h u|_{L^1} + C \sup_{\tau_h \in X_h} \lim_{\tau_h \rightarrow 0} \{((P_h u-u_h)_x, \tau_h) / \|\tau_h\|_{L^0}\} \\
& = |u-P_h u|_{L^1} + C \sup_{\tau_h \in X_h} \lim_{\tau_h \rightarrow 0} \{((u-u_h)_x, \tau_h) + ((P_h u-u)_x, \tau_h) / \|\tau_h\|_{L^0}\} \\
& \leq C[|u-P_h u|_{L^1} + \nu^{-1} \sup_{\tau_h \in X_h} \lim_{\tau_h \rightarrow 0} \{a(u^2-u_h^2, \tau_h) / 2 - (p-p_h, \tau_h)\} / \|\tau_h\|_{L^0}] \\
& \leq C[h^{m+1} \|\varphi\|_{H^{m+2}} + \|p-p_h\|_{L^0} + |u-u_h|_{L^0}] \\
& \leq Ch^{m+1} \|\varphi\|_{H^{m+2}}.
\end{array}
\end{equation}

```

由上式即得 (3.16)。定理 3 证毕。

{\HT 附注: } (3.21) 的估计是不丰满的, 利用 Nitsche 技巧可以导出下面丰满的估计:

```

\begin{equation}
\label{3.24}
\begin{array}{l}
\|u-u_h\|_{L^0} \leq Ch^{m+2} \|\varphi\|_{H^{m+2}}.
\end{array}
\end{equation}

```

$\backslash\mathrm{end}\{\mathrm{equation}\}$

$\backslash\mathrm{SEC}\{4. \text{全离散化的混合有限元解的存在性及其误差分析}\}$

$\backslash\mathrm{setcounter}\{\mathrm{section}\}\{4\}$

$\backslash\mathrm{setcounter}\{\mathrm{equation}\}\{0\}$

设 L 是一个正整数, $\tau = t_1/L$ 是时间步长, $t^{\{n\}} = nk$, $0 \leq n \leq L$, $(u_h^n, p_h^n) \in M_h \times M_h$ 是 $(u(t^{\{n\}}), p(t^{\{n\}})) \equiv (u^n, p^n)$ 的有限元逼近. 则问题 (I^*) 的全离散化的混合有限元解可表示为:

{\HT 问题 (I_h^n) :} 求 $(u_h^n, p_h^n) \in M_h \times X_h$ 满足, $1 \leq n \leq L$,

$\backslash\mathrm{begin}\{\mathrm{equation}\}$

$\backslash\mathrm{label}\{4.1\}$

$\backslash\mathrm{left} \ \{\backslash\mathrm{begin}\{\mathrm{array}\}\{1\}$

$(p_h^n, \tau_h) + \nu(u_{hx}^n, \tau_h) = a(u_h^{n-1} u_h^{n-1}, v_h)/2,$

$\backslash \ \backslash\mathrm{forall} \ \tau_h \ \mathrm{in} \ X_h; \backslash \backslash$

$(u_h^n, v_h) - k(v_{hx}, p_h^n) = (u_h^{n-1}, v_h), \backslash \ \backslash\mathrm{forall} \ v_h \ \mathrm{in} \ M_h; \backslash \backslash$

$u_h^0 = P_h \varphi(x), \backslash \ \backslash \ x \ \mathrm{in} \ \Omega.$

$\backslash\mathrm{end}\{\mathrm{array}\}\backslash\mathrm{right}.$

$\backslash\mathrm{end}\{\mathrm{equation}\}$

{\HT 定理 4.} 在定理 1-3 的条件下, 问题 (I_h^n) 存在惟一的解 $(u_h^n, p_h^n) \in M_h \times M_h$, 而且当 k 充分小, $\kappa = m \geq 1$ 时, 有下列估计:

$\backslash\mathrm{begin}\{\mathrm{equation}\}$

$\|u^n - u_h^n\|_{L_0} + \nu^{-1/2} k^{1/2} \sum \limits_{j=1}^n (\|u^j - u_h^j\|_{L_1}$

$+ \|p^j - p_h^j\|_{L_0}) \leq C(h^s + k).$

$\backslash\mathrm{label}\{4.2\}$

$\backslash\mathrm{end}\{\mathrm{equation}\}$

其中 $1 \leq s \leq \min\{\kappa, m-1\}$.

{\FS 证明. } 设

$u_h^n = \sum \limits_{i=1}^{r_2} \eta_i(t^{\{n\}}) \psi_i(x), \backslash \backslash$

$p_h^n = \sum \limits_{j=1}^{r_1} \xi_j(t^{\{n\}}) \phi_j(x),$

其中 $\{\phi_i\}_{i=1}^{r_1} \subset X_h$ 和 $\{\psi_i\}_{i=1}^{r_2} \subset M_h$ 是两组标准正交基 (见 (3.5) 式). 则问题 (I_h^n) 可写为:

求 $\eta = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_{r_2})^T$, $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{r_1})^T$ 满足

$\backslash\mathrm{begin}\{\mathrm{equation}\}$

$\backslash\mathrm{label}\{4.3\}$

$\backslash\mathrm{left} \ (\backslash\mathrm{begin}\{\mathrm{array}\}\{\mathrm{cc}\}$

$A \ \backslash \ \& \nu \ B^T \ \backslash \backslash$

$-k B \ \backslash \ \& D$

$\backslash\mathrm{end}\{\mathrm{array}\}\backslash\mathrm{right})$

$\backslash\mathrm{left}(\backslash\mathrm{begin}\{\mathrm{array}\}\{\mathrm{c}\}$

```

\xi \\ \eta
\end{array}\right)
=\left(\begin{array}{c}
F \\ G
\end{array}\right),
\end{equation}

```

其中 $A=((\phi_i, \phi_j))_{1 \leq i, j \leq n}$ 和 $D=((\psi_i, \psi_j))_{1 \leq i, j \leq n}$ 是两个正定矩阵, 对比问题 (I $_h^n$) 可知 B , F , G , ξ 和 η 的含义。不难证明 (4.3) 的系数矩阵是可逆的, 故方程 (4.3) 即问题 (I $_h^n$) 存在唯一的解 $(u_h^n, p_h^n) \in M_h \times X_h$ 。

记 $\bar{\partial}_t u^n = (u^n - u^{n-1})/k$ 。在问题 (I *) 中取 $t = t^n$, $\tau = \tau_h$, $v = v_h$, 而且与问题 (I $_h^n$) 相减得:

```

\begin{equation}
\label{4.4}
\begin{array}{l}
(p^n - p_h^n, \tau_h) + \mu((u^n - u_h^n)_x, \tau_h) \\
= ((u^n - u_h^n)_{n-1}, \tau_h)/2, \quad \forall \tau_h \in X_h;
\end{array}
\end{equation}
\begin{equation}
\label{4.5}

```

```

(u^n - \bar{\partial}_t u_h^n, v_h) - ((p^n - p_h^n), v_h) = 0,
\quad \forall v_h \in M_h,
\end{equation}

```

再记 $\xi^n = P_h u^n - u_h^n$, 则由 (4.1)、(2.5)、(4.4)–(4.5)、引理 2–3 有:

```

\begin{array}{l}
(\bar{\partial}_t \xi^n, \xi^n) = (\bar{\partial}_t P_h u^n - \bar{\partial}_t u_h^n, \xi^n) \\
= (\bar{\partial}_t P_h u^n, \xi^n) - (\xi^n_x, p_h^n) \\
= (\bar{\partial}_t P_h u^n, \xi^n) - (\xi^n_x, p_h^n - p^n) - (\xi^n, p^n) \\
= (\bar{\partial}_t P_h u^n - u_t^n, P_h u^n - u_h^n) - ((P_h u^n - u^n), p_h^n - p^n) \\
& - ((u^n - u_h^n)_x, p_h^n - p^n) \\
= (\bar{\partial}_t P_h u^n - \bar{\partial}_t u^n + \bar{\partial}_t u^n - u_t^n, \\
P_h u^n - u_h^n) + ((u^n - u_h^n)_x, p^n - r_{hp}^n) \\
& - ((P_h u^n - u^n)_x, p_h^n - p^n) - ((u^n - u_h^n)_x, p^n - r_{hp}^n) \\
= (\bar{\partial}_t u^n - u_t^n, P_h u^n - u_h^n) - ((P_h u^n - u^n), p_h^n - p^n) \\
& + ((u^n - P_h u^n)_x, p^n - r_{hp}^n) - \nu^{-1}(p^n - p_h^n, r_{hp}^n - p_h^n) \\
& + \nu^{-1}a(u^{n2} - u^{(n-1)2}, r_{hp}^n - p_h^n)/2 \\
= (\bar{\partial}_t u^n - u_t^n, P_h u^n - u_h^n) - ((P_h u^n - u^n)_x, p_h^n - p^n) \\
& + ((u^n - P_h u^n)_x, p^n - r_{hp}^n) - \nu^{-1}(p^n - p_h^n, p^n - p_h^n) \\
& + \nu^{-1}(p^n - r_{hp}^n, p^n - r_{hp}^n) \\
& + \nu^{-1}a(u^{n2} - u^{(n-1)2}, r_{hp}^n - p_h^n)/2.
\end{array}
\end{array}

```

上式移项, 并由 $H\ddot{o}lder$ 不等式和 Cauchy 不等式可得:

$$\begin{aligned} & \left(\|\xi^n\|_{L^2}^2 + \nu^{-1} \|p^n - p_h^n\|_{L^2}^2 \right) \leq \frac{1}{2} \|\xi^n\|_{L^2}^2 \\ & + \frac{1}{2} \|\xi^{n-1}\|_{L^2}^2 \\ & + k[2\|u^n - P_{hu}^n\|_{L^2}^2 + (\frac{1}{2} + 7\nu^{-1}) \|p^n - r_{hp}^n\|_{L^2}^2] \\ & + \frac{1}{2} (\|\bar{\partial}_t u^n - u_t^n\|_{L^2}^2 + \|\xi^n\|_{L^2}^2) \\ & + 3\nu^{-1} M_2^2 \|u^{n-1} - u_h^{n-1}\|_{L^3}^2 \\ & + \frac{1}{3} k^2 \nu^{-1} M_2^2 \|u_t^n\|_{L^2}^2 + k \nu^{-1} \|p^n - p_h^n\|_{L^2}^2. \end{aligned}$$

记 $M_3 = \max_{0 \leq t \leq T} \{ \|u\|_{L^{m+2}}^2, \|u_t\|_{L^2}^2, \|u_{tt}\|_{L^2}^2 \}$, 注意到 $p = u^2/2 - \nu u_x$, 则由 (4.6) 可得:

$$\begin{aligned} & \left(\|\xi^n\|_{L^2}^2 + \nu^{-1} k \|p^n - p_h^n\|_{L^2}^2 \right) \leq \|\xi^{n-1}\|_{L^2}^2 + k M_3 C[\\ & (5 + 14\nu^{-1}) h^{\{2s\}} + k^2 \nu^{-1} M_2] \\ & + k \|\bar{\partial}_t u^n - u_t^n\|_{L^2}^2 + k \|\xi^n\|_{L^2}^2 \\ & + 3k \nu^{-1} M_2^2 \|\xi^{n-1}\|_{L^2}^2. \end{aligned}$$

上式两边从 1 到 n 求和, 而且注意到 $\xi^0 = 0$, 可有:

$$\begin{aligned} & \left(\|\xi^n\|_{L^2}^2 + \nu^{-1} k \sum_{j=1}^n \|p^j - p_h^j\|_{L^2}^2 \right) \\ & \leq n k C(h^{\{2s\}} + k^2) \\ & + k \sum_{j=1}^n \|\bar{\partial}_t u^j - u_t^j\|_{L^2}^2 \\ & + k \sum_{j=1}^n \|\xi^j\|_{L^2}^2 \\ & + k C \sum_{j=0}^{n-1} \|\xi^j\|_{L^2}^2. \end{aligned}$$

当 k 充分小, 如 $Ck \leq 1/2$ 时, (4.7) 可写为:

$$\begin{aligned} & \left(\|\xi^n\|_{L^2}^2 + \nu^{-1} k \sum_{j=1}^n \|p^j - p_h^j\|_{L^2}^2 \right) \\ & \leq Ck \left(\sum_{j=1}^n \|\bar{\partial}_t u^j - u_t^j\|_{L^2}^2 + \|\xi^j\|_{L^2}^2 \right). \end{aligned}$$

由于

$$\begin{aligned} & \end{aligned}$$

```

\label{4.10}
\begin{array}{l}
\\ \bar{\partial} \partial_t u^j - u^j \partial_t u^j|_{t=0} = |k^{-1} (u^j - u^{j-1}) - u^j \partial_t u^j|_{t=0} \\
= |k^{-1} \partial_t \int_{t_j}^{t_{j+1}} (s - t_j) u^{j-1}(s) ds|_{t=0}, \\
\end{array}
\end{equation}

```

则有:

```

\begin{equation}
\label{4.11}
\begin{array}{l}
\\ k \sum_{j=1}^n | \bar{\partial} \partial_t u^j - u^j \partial_t u^j|_{t=0} \\
\leq M_3 n k^{3/4}. \\
\end{array}
\end{equation}

```

于是, 当 k 足够小, 如 $k \leq 1/2$ 时, 由 (4.9)–(4.11) 可得:

```

\begin{equation}
\label{4.12}
\begin{array}{l}
\\ | \xi^n|_{L^2} + | \nu^{-1} k \sum_{j=1}^n | p^j - p_h^j|_{L^2}|_{t=0}^2 \leq n k C(h^{2s} + k^2) \\
+ k C(\sum_{j=0}^{n-1} | \xi^j|_{L^2}^2). \\
\end{array}
\end{equation}

```

在引理 4 中取

```

\begin{equation}
\label{4.13}
\begin{array}{l}
\\ a_n = | \xi^n|_{L^2}, \quad b_n \\
= | \nu^{-1} k \sum_{j=1}^n | p^j - p_h^j|_{L^2}|_{t=0}^2, \quad c_n = n k C(h^{2s} + k^2), \\
\quad n = 1, 2, \dots \\
\end{array}
\end{equation}

```

由于 $c_0 = 0, a_0 = 0$, 从而可定义 $b_0 = 0$, 则由引理 4 得:

```

\begin{equation}
\label{4.14}
\begin{array}{l}
\\ | \xi^n|_{L^2}^2 + | \nu^{-1} k \sum_{j=1}^n | p^j - p_h^j|_{L^2}|_{t=0}^2 \\
\leq n k C(h^{2s} + k^2) \{ \exp \} (n k C) \\
\leq C(t^{(n)})(h^{2s} + k^2). \\
\end{array}
\end{equation}

```

于是, 有:

```

\begin{equation}
\label{4.15}
\begin{array}{l}
\end{array}
\end{equation}

```

由 (4.15) 和 (4.16) 可得 (4.2)。定理 4 证毕。

$$\end{equation}$$

则有

```
\begin{equation}
\label{5.3}
\frac{\mathrm{d}u_{i,h}^n}{\mathrm{d}x}=\frac{\mathrm{d}N_i}{\mathrm{d}x}u_i^n+\frac{\mathrm{d}M_i}{\mathrm{d}x}u_{i+1}^n
=(\frac{-1}{h},\frac{1}{h})(u_{i,h}^n,u_{i+1,h}^n)^T.
\end{equation}
```

从而在单元 K_i 上有

```
\begin{equation}
\label{5.4}
\begin{array}{l}
\displaystyle\int_{K_i}(N_i,M_i)^T&(N_i,M_i)\mathrm{d}x(p_i^n,p_{i+1}^n)^T+\nu\\
\displaystyle\int_{K_i}(N_i,M_i)^T&(\frac{-1}{h},\frac{1}{h})\mathrm{d}x(u_i^n,u_{i+1}^n)^T\\
&=\displaystyle\frac{1}{2}\\
\displaystyle\int_{K_i}(N_i,M_i)^T&(N_{i,u_i}^{n-1}+M_{i,u_{i+1}}^{n-1})^2\mathrm{d}x,
\end{array}
\end{equation}
```

```
\begin{equation}
\label{5.5}
\begin{array}{l}
\begin{array}{l}
-k\displaystyle\int_{K_i}(\frac{-1}{h},\frac{1}{h})^T&(N_i,M_i)\mathrm{d}x\\
(p_i^n,p_{i+1}^n)^T+\displaystyle\int_{K_i}(N_i,M_i)^T&(N_i,M_i)\mathrm{d}x(u_i^n,u_{i+1}^n)^T\\
&=\displaystyle\frac{1}{2}\\
\displaystyle\int_{K_i}(N_i,M_i)^T&(N_{i,u_i}^{n-1}+M_{i,u_{i+1}}^{n-1})\mathrm{d}x,
\end{array}
\end{array}
\end{equation}
```

即

```
\begin{equation}
\label{5.6}
\left(\begin{array}{cccc}
4h&2h&-6\nu&6\nu\\
2h&4h&-6\nu&6\nu\\
6k&6k&4h&2h\\
-6k&-6k&2h&4h
\end{array}\right)
\left(\begin{array}{c}
p_i^n\\
p_{i+1}^n\\
u_i^n\\
u_{i+1}^n
\end{array}\right)=
\left(\begin{array}{c}
F_i^{n-1}\\
F_{i+1}^{n-1}\\
f_i^{n-1}\\
f_{i+1}^{n-1}
\end{array}\right),
\end{equation}
```

其中

```
\begin{equation}
\label{5.7}
```



```

\left\{\begin{array}{l}
F_i^{n-1}=h[3(u_i^{n-1})^2+(u_{i+1}^{n-1})^2+2u_i^{n-1}u_{i+1}^{n-1}]/2,\\
F_{i+1}^{n-1}=h[(u_i^{n-1})^2+3(u_{i+1}^{n-1})^2+2u_i^{n-1}u_{i+1}^{n-1}]/2,\\
f_i^{n-1}=h(4u_i^{n-1}+2u_{i+1}^{n-1}),\\
f_{i+1}^{n-1}=h(2u_i^{n-1}+4u_{i+1}^{n-1}).
\end{array}\right.
\end{equation}

```

由 (5.6) 可得到在单元 K_i 上的解为:

```

\begin{equation}
\label{5.8}
\left\{\begin{array}{rl}
u_i^n=&u_i^{n-1}+\displaystyle\frac{1}{h^2+12\nu k}\{\frac{6\nu k^2}{h}(u_{i+1}^{n-1}-u_i^{n-1})\}\\
&+kh[(u_i^{n-1})^2+(u_{i+1}^{n-1})^2+u_i^{n-1}u_{i+1}^{n-1}];\\
u_{i+1}^n=&u_{i+1}^{n-1}+\displaystyle\frac{1}{h^2+12\nu k}\{\frac{6\nu k^2}{h}(u_{i+1}^{n-1}-u_i^{n-1})\}\\
&+kh[(u_i^{n-1})^2+(u_{i+1}^{n-1})^2+u_i^{n-1}u_{i+1}^{n-1}];\\
p_i^n=&\displaystyle\frac{1}{h^2+12\nu k}\{3\nu k[(u_i^{n-1})^2-(u_{i+1}^{n-1})^2]-\nu h(u_{i+1}^{n-1}-u_i^{n-1})\}\\
&+\displaystyle\frac{h^2}{12}[5(u_i^{n-1})^2-(u_{i+1}^{n-1})^2+2u_i^{n-1}u_{i+1}^{n-1}];\\
p_{i+1}^n=&\displaystyle\frac{1}{h^2+12\nu k}\{3\nu k[(u_{i+1}^{n-1})^2-(u_i^{n-1})^2]-\nu h(u_{i+1}^{n-1}-u_i^{n-1})\}\\
&+\displaystyle\frac{h^2}{12}[5(u_{i+1}^{n-1})^2-(u_i^{n-1})^2+2u_i^{n-1}u_{i+1}^{n-1}],
\end{array}\right.
\end{equation}

```

从而得到 (u_h^n, p_h^n) 在节点 x_i $(i=0,1,\dots,l)$ 的值:

```

\begin{equation}
\label{5.9}\left\{\begin{array}{l}
u_0^n=0;\\
u_i^n=u_i^{n-1}+\displaystyle\frac{1}{h^2+12\nu k}\{\frac{3\nu k^2}{h}(u_{i+1}^{n-1}-u_{i-1}^{n-1})+\displaystyle\frac{kh}{2}[(u_{i-1}^{n-1})^2\\
&- (u_{i+1}^{n-1})^2+u_{i-1}^{n-1}u_i^{n-1}-u_{i+1}^{n-1}u_i^{n-1}]\}, \quad i=1,2,\dots,l-1;\\
u_l^n=0;\\
p_0^n=\displaystyle\frac{1}{h^2+12\nu k}\{3\nu k[(u_0^{n-1})^2-(u_1^{n-1})^2]-\nu h(u_1^{n-1}-u_0^{n-1})\}\\
&+\displaystyle\frac{h^2}{12}[5(u_0^{n-1})^2-(u_1^{n-1})^2+2u_0^{n-1}u_1^{n-1}];\\
p_i^n=\displaystyle\frac{1}{h^2+24\nu k}\{\\
&\displaystyle\frac{h^2}{12}[10(u_i^{n-1})^2-(u_{i+1}^{n-1})^2-(u_{i-1}^{n-1})^2\\
&+2u_i^{n-1}u_{i+1}^{n-1}]\\
&+2u_i^{n-1}u_{i-1}^{n-1}\}
\end{array}\right.
\end{equation}

```

```

-3\mu k[(u_{i+1})^{n-1})^2-2(u_i^{n-1})^2+(u_{i-1})^{n-1})^2]\backslash
&-\nu h(u_{i+1})^{n-1}-u_{i-1})^{n-1})\backslash,\ i=1,2,\dots,l-1;\backslash
p_l^n=&\displaystyle\frac{1}{h^2+12\nu k}\{3\nu k[(u_l^{n-1})^2
-(u_{l-1})^{n-1})^2]-\nu h(u_l^{n-1}-u_{l-1})^{n-1})\backslash
&+\displaystyle\frac{h^2}{12}[5(u_l^{n-1})^2-(u_{l-1})^{n-1})^2
+2u_l^{n-1}u_{l-1})^{n-1}]\backslash.
\end{array}\right.
\end{equation}

```

只要给出初始函数 $u(0)=\varphi(x)$, 按需要选定时间步长 k , 空间步长 h , 参数 a 和粘性系数 $\nu=\frac{1}{\text{Re}}$ (Re 表示 Reynolds 数), 就可以由 (5.9) 求出对应于此初始函数的混合有限元解。

{\bf HT 例 1.} 取 $[a, b]=[0, 1]$, 并取初始函数为

$u(0)=\varphi(x)=\sin(\pi x),\ x\in[0, 1]$.

取 $a=1, h=0.01, k=0.01, \nu=1/\text{Re}=1/48$. 将 $[0, 1]$ 剖分为 $l=(b-a)/h=100$ 个相同的小区间. 由 (5.9) 可解出问题 (I_h^n) 的解 (u_h^n, p_h^n) .

{\bf HT 结束语:} 与 [12] 中的有限差分算法的数值结果比较可知, 我们的数值结果是很理想的. 由于我们引入了中间变量 $sp=au^2/2-\nu u_x$ (流函数), 所以, 我们的数值结果是稳定的. 如果需要得到更高精度的近似解, 可以采用较高次的插值. 因此, 混合有限元法有其独特的优点. 特别是, 用混合有限元法能一举同时求出速度和通量的近似解, 这是其他方法所不及的.

```

\vspace{0.5cm}
\hfill\includegraphics[width=6cm]{bgs.ps}
\hfill\includegraphics[width=6cm]{bgsp.ps}\hfill

```

\centerline{\footnotesize\zihao{6}\hfill

图 1. 速度混合有限元解 \hfill 图 2. 流体通量分布图 \hfill}

```

\vspace{0.4cm}
{\small\HT 致谢} {\small 作者衷心感谢石钟慈院士、舒其望教授对本文工作的帮助. }

```

```

\vspace*{-0.4cm}
\begin{center}\vspace*{5truemm}
\subsection*{\normalsize\HT
参 考 文 献 }\end{center}\rm\small\zihao{-5}

```

\REF{[1]} R.S.Falk, J.E.Osborn. Error estimates for mixed methods. {\em RAIRO, Numer. Anal.}, {\bf 14} (1980), 249-277.

\REF{[2]} F.Brezzi, M.Fortin. Mixed and Hybrid Finite Element Methods. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 1991.

\REF{[3]} 罗振东. 有限元混合法理论基础及其应用. 发展与应用, 山东教育出版社, 济南, 1996. \

(Z.D.Luo. Theory Bases and Applications of Finite Element and Mixed Finite Element Methods. Evolutions and Applications. Shan Dong Educational Press, 1996.)

\REF{[4]} D.N.Arnold, J.Douglas Jr., C.P.Gupta. A family of higher order mixed finite element methods for plane elasticity. {\em Numer. Math.}, {\bf 45}(1984), 1-22.

\REF{[5]} P.Monk. A mixed finite element method for biharmonic equation. {\em SIAM J. Numer. Anal.}, {\bf 24} (1987), 737-749.

\REF{[6]} C.Bernardi, G.Raugel. Analysis of some finite elements for the Stokes problems. {\em Math. Comp.}, {\bf 44} (1985), 71-80.

\REF{[7]} V.Girault, P.A.Raviart. Finite Element Methods for Navier- Stokes Equations. Theorem and Algorithms, Springer-Verlag, 1986.

\REF{[8]} S.M.F.Garcia. Improved error estimates for nonlinear parabolic equations: The discrete time case. {\em Numer. Methods PDEs}, {\bf 10} (1994), 149-169.

\REF{[9]} B.Heise. Analysis of a fully discrete finite element method for a nonlinear magnetic field problem. {\em SIAM J. Numer. Anal.}, {\bf 31} (1994), 745-759.

\REF{[10]} 忻孝康, 刘儒勋, 蒋伯诚. 计算流体力学. 国防科技大学出版社, 长沙, 1994. \\

(X.K.Xin, R.X.Liu and B.C.Jiang. Computational Fluid Dynamics. National Defence Scientific and Technical Press, 1989.)

\REF{[11]} 傅德熏. 流体力学数值模拟. 国防工业出版社, 北京, 1994. \\

(D.X.Fu. Numerical Simulations of Fluid Mechanics. National Defence Industry Press, 1994.)

\REF{[12]} C.A.Fletcher. A comparison of finite element and finite difference solution of the one-and two-dimensional Burgers' equations. {\em J. Comp. Phys.}, {\bf 51} (1983), 159-188.

\REF{[13]} R.A.Adams. Sobolev Spaces. Academic Press, New York, 1975.

\REF{[14]} Y.D.Shang. Initial boundary value problem for a class of generalized Burgers type equations. {\em Mathematica Applicata}, {\bf 9} (1996), 166-171.

\REF{[15]} P.G.Ciarlet. The Finite Element Method for Elliptic Problems. North - Holland, Amsterdam, 1978.

\end{document}

该源文件的排版结果如下页:

Burgers 方程的混合元分析及其数值模拟^{* 1)}

罗振东

(首都师范大学数学系)

刘儒勋

(中国科学技术大学数学系)

MIXED FINITE ELEMENT ANALYSIS AND NUMERICAL SIMULATION FOR BURGERS EQUATION

Luo Zhen-dong

(Department of Mathematics, Capital Normal University, Beijing)

Liu Ru-xun

(Department of Mathematics, University of Science and Technology of China)

Abstract

In this paper, the 1-D Burgers equation is studied, the existence of its mixed generalized solution and semi-discrete and fully discrete mixed finite element solutions are discussed, and their error estimates are analyzed. And finally, an example of numerical simulation of fully discrete mixed finite element solution is also given.

Keywords: Burgers equation, mixed element method, numerical simulation.

关键词: Burgers 方程, 混合元法, 数值模拟.

1. 引言

混合有限元法在高阶偏微分方程和含有两个(或者两个以上)的未知函数的偏微分方程的数值解的研究中起着重要的作用。但是,到目前为止,混合有限元法主要是用于 $2n$ 阶或一阶偏微分方程(组),如二阶椭圆型方程、平面弹性力学方程、双调和方程、Stokes 和 Navier-Stokes 方程、抛物型方程及电磁场方程(参见 [1-9] 及当中的参考文献)。然而,目前混合有限元法还没有被用于对非线性的 Burgers 方程做数值研究。而过去对 Burgers 方程的数值研究主要采用标准有限元法、差分方法和谱方法(参见 [10-12] 及当中的参考文献)。

本文的目的是用混合有限元法去研究 Burgers 方程,我们将给出一种新的混合有限元格式,我们首先讨论 Burgers 方程的混合变分问题的广义解的存在惟一性(见 §2),然后分别给出半离散化(见 §3)和全离散化(见 §4)的混合有限元解的存在性和误差估计,最后,给出全离散化的混合有限元解的数值模拟例子(见 §5),从中,我们可以体会到混合有限元法的优越性。

2. Burgers 方程的广义解的存在惟一性

设 $\Omega = (a_1, b_1)$ 是一个有界开区间,考虑下面的 Burgers 方程:

* 1996 年 11 月 8 日收到.

1) 国家自然科学基金、北京市自然科学基金和科学与工程计算国家重点实验室资助项目.

问题 (I). 求 u 使得 $\forall t_1 > 0$ 满足

$$\begin{cases} u_t + auu_x - \nu u_{xx} = 0, & (x, t) \in \Omega \times (0, t_1), \\ u(x, t) = 0, & (x, t) \in \partial\Omega \times (0, t_1), \\ u(x, 0) = \varphi(x), & x \in \Omega. \end{cases} \quad (2.1)$$

其中 u 表示速度, a 是正的常数, ν 是粘性常数, $\varphi(x)$ 是已知初值函数.

设 $H^m(\Omega)$ 和 $L^2(\Omega) = H^0(\Omega)$ 表示通常的 Sobolev 空间和 Lebesgue 空间. 用 (\cdot, \cdot) 表示空间 $L^2(\Omega)$ 中的内积, 而且用 $\|\cdot\|_m$ 表示空间 $H^m(\Omega)$ 的范数, 其定义为:

$$\|v\|_m = \left[\sum_{j=0}^m \left\| \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^j v \right\|_0^2 \right]^{1/2}, \quad \forall v \in H^m(\Omega). \quad (2.2)$$

再用 $\|\cdot\|_{0,\infty}$ 表示空间 $L^\infty(\Omega)$ 的范数. 注意到 $H^1(\Omega) \hookrightarrow L^\infty(\Omega)$ 是连续的 (参见 [13]). $H^m(\Omega)$ 的子空间 $H_0^m(\Omega)$ 表示为:

$$H_0^m(\Omega) = \{v \in H^m(\Omega); \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^i v(a_1) = \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)^i v(b_1) = 0, 0 \leq i < m\}.$$

特别地, $\forall v \in C(0, t_1; H^m(\Omega))$, 记

$$\|v\|_m = \sup_{0 \leq t \leq t_1} \|v(t)\|_m.$$

由文献 [14] 可知, 当初值函数 $\varphi(x) \in H^m(\Omega)$, $m \geq 2$, 问题 (I) 存在唯一的解 u , 而且对于满足 $m - j \geq 0$ 的整数 $j \geq 0$ 都有 $\left(\frac{\partial}{\partial t} \right)^j u \in C(0, t_1; H^{m-j}(\Omega) \cap H_0^1(\Omega))$. 此外, 存在常数 $c(\|\varphi\|_m)$ 使得

$$\left\| \left(\frac{\partial}{\partial t} \right)^j u \right\|_{m-j} \leq c(\|\varphi\|_m). \quad (2.3)$$

令 $p = au^2/2 - \nu u_x$ (其物理意义为流函数), 则有 $\left(\frac{\partial}{\partial t} \right)^j p \in C(0, t_1; H^{m-j-1}(\Omega))$,

$$\left\| \left(\frac{\partial}{\partial t} \right)^j p \right\|_{m-j-1} \leq c(\|\varphi\|_m). \quad (2.4)$$

于是, 问题 (I) 的混合变分问题的广义解为:

问题 (I*): 求 $(u, p): [0, t_1] \rightarrow M \times X$ 使得 $\forall t \in (0, t_1)$,

$$\begin{cases} (u_t, v) - (p, v_x) = 0, & \forall v \in M, \\ (p, \tau) + \nu(\tau, u_x) - (u^2, \tau)/2 = 0, & \forall \tau \in X, \\ u(x, 0) = \varphi(x), & x \in \Omega. \end{cases} \quad (2.5)$$

其中 $M = H_0^1(\Omega)$, $X = L^2(\Omega)$.

讨论问题 (I) 的混合变分问题的广义解的存在性需下一个引理 (参见 [7]).

引理 1. (Gronwall 引理) 设 $g(t)$ 是在 $[0, t_1]$ 上可积而且几乎处处正的函数, $c \geq 0$ 为常数, 若 $\psi(t) \in C^0([0, t_1])$ 且满足不等式

$$0 \leq \psi(t) \leq c + \int_0^t g(s)\psi(s)ds, \quad \forall t \in [0, t_1],$$

则 $\psi(t)$ 也满足

$$0 \leq \psi(t) \leq c \cdot \exp\left(\int_0^t g(s) ds\right), \quad \forall t \in [0, t_1],$$

而且当 $c = 0$ 时, $\psi(t) \equiv 0$

定理 1. 若 $\varphi(x) \in L^2(\Omega)$, 则问题 (I*) 存在惟一的解 $(u, p) \in M \times X$, 而且存在 M_0 使得 $\|u\|_{0,\infty} \leq M_0$.

证明. 由于问题 (I) 存在惟一的解 u , 则 $(u, p) = (u, au^2/2 - \nu u_x)$ 是问题 (I*) 的一个解. 在问题 (I*) 中取 $\tau = u_x, v = u$, 而且注意到 $(u^2, u_x) = 0$ 可得

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|u\|_0^2 + \nu \|u_x\|_0^2 = 0.$$

上式两边从 0 到 t 积分而且由初始条件即得

$$\|u\|_0^2 + 2\nu \int_0^t \|u_x\|_0^2 ds = \|\varphi\|_0^2. \quad (2.6)$$

由 (2.6) 和一维的定积分性质 (可积必有界) 可知, 存在常数 C_0 使得

$$\|u_x\|_0 \leq C_0. \quad (2.7)$$

再由 Sobolev 空间的嵌入定理 (参见 [3,15]) 可知, 存在 C_1 使得

$$\|u\|_{0,\infty} \leq C_1 \|u_x\|_0 \leq C_1 C_0 \equiv M_0. \quad (2.8)$$

由上式即得 $\|u\|_{0,\infty} \leq M_0$.

令 (u^*, p^*) 为问题 (I*) 的另一个解, 则有 $\|u^*\|_{0,\infty} \leq M_0$. 而由问题 (I*) 可得

$$(u_t - u_t^*) - (p - p^*, v_x) = 0, \quad \forall v \in M; \quad (2.9)$$

$$(p - p^*, \tau) + \nu(\tau, u_x - u_x^*) - a((u + u^*)(u - u^*), \tau)/2 = 0, \quad \forall \tau \in X. \quad (2.10)$$

取 $\tau = p - p^*, v = u - u^*$, 而且由 Hölder 不等式和 Cauchy 不等式有

$$\begin{aligned} \frac{\nu}{2} \frac{d}{dt} \|u - u^*\|_0^2 + \|p - p^*\|_0^2 &= a((u + u^*)(u - u^*), p - p^*)/2 \\ &\leq aM_0 \|u - u^*\|_0 \|p - p^*\|_0 \leq \frac{(aM_0)^2}{2} \|u - u^*\|_0^2 + \frac{1}{2} \|p - p^*\|_0^2. \end{aligned} \quad (2.11)$$

即得

$$\nu \frac{d}{dt} \|u - u^*\|_0^2 + \|p - p^*\|_0^2 \leq (aM_0)^2 \|u - u^*\|_0^2. \quad (2.12)$$

上式两边从 0 到 $t \in [0, t_1]$ 积分而且注意到 $(u - u^*)(0) = 0$ 即得

$$\|u - u^*\|_0^2 \leq \nu^{-1} (aM_0)^2 \int_0^t \|u - u^*\|_0^2 ds, \quad \forall t \in [0, t_1]. \quad (2.13)$$

则由引理 1 可得 $\|u - u^*\|_0 = 0$, 即得 $u = u^*$, 从而由 (2.12) 得 $\|p - p^*\|_0 = 0$, 即得 $p = p^*$. 定理 1 证毕.

3. 半离散化的混合有限元解的存在性及其误差分析

设 $\mathfrak{B}_h = \{[x_i, x_{i+1}]; 0 \leq i \leq l-1, x_0 = a_1, x_l = b_1\}$ 是 $\bar{\Omega}$ 的正规剖分 (意指: 这 l 个区间的长度相差不太大), 其中 $h = \max_{0 \leq i \leq l-1} (x_{i+1} - x_i)$.

定义 M, X 的有限元子空间:

$$\begin{cases} M_h = \{v_h \in M; v_h|_K \in P_\kappa(K), \forall K \in \mathfrak{B}_h\}, \\ X_h = \{\tau_h \in X; \tau_h|_K \in P_m(K), \forall K \in \mathfrak{B}_h\}, \end{cases} \quad (3.1)$$

其中 $m \geq 0, 1 \leq \kappa \leq m, P_r(K)$ 表示 K 上次数 $\leq r$.

注: 下面用到的 C 表示与剖分参数 h 和 k (时间步长, 参见 §4) 无关的一般常数.

利用投影性质及对偶原理 (参见 [3, 15]) 可得到下面两个引理:

引理 2. 存在算子 $P_h: M \rightarrow M_h$ 使得 $\forall v \in M$ 都有

$$(v - P_h v, v_h) = 0, \quad \forall v_h \in M_h, \quad \|P_h v\|_0 \leq \|v\|_0,$$

而且当 $v \in H^r(\Omega)$ 时, 有

$$\|v - P_h v\|_s \leq C h^{r-s} |v|_r, \quad s = 0, 1, \quad s \leq r \leq \kappa + 1.$$

引理 3. 存在算子 $r_h: X \rightarrow X_h$ 使得 $\forall \tau \in X$ 都有

$$(\tau - r_h \tau, \tau_h) = 0, \quad \forall \tau_h \in X_h, \quad \|r_h \tau\|_0 \leq \|\tau\|_0.$$

而且当 $\tau \in H^r(\Omega)$ 时, 有

$$\|\tau - r_h \tau\|_s \leq C h^{r-s} |\tau|_r, \quad s = 0, 1; \quad s \leq r \leq m + 1.$$

推论 1. $\forall v \in M$ 都有 $(v_x - r_h v_x, \tau_h) = 0, \quad \forall \tau_h \in X_h$, 而且当 $v \in H^{r+1}(\Omega)$ 时, 都有 $\|v_x - r_h v_x\|_0 \leq C h^r |v|_{r+1}, \quad 0 \leq r \leq m + 1$.

注意到 $\forall v \in M_h$ 有 $v_x \in X_h$, 则由引理 3 容易验证 M_h 和 X_h 满足离散的 B.-B. 条件:

$$\sup_{\tau_h \in X_h} \frac{(v_{hx}, \tau)}{\|\tau_h\|_0} \geq \beta |v_h|_1, \quad \forall v_h \in M_h. \quad (3.2)$$

其中 β 是与 h 无关的正常数. 下面的引理可参见 [7].

引理 4. 若 $\{a_n\}, \{b_n\}, \{c_n\}$ 是正数列, $\{c_n\}$ 是单调递增而且满足

$$a_n + b_n \leq c_n + \bar{\lambda} \sum_{j=0}^{n-1} a_j, \quad n \geq 1, \quad \bar{\lambda} > 0; \quad a_0 + b_0 \leq c_0,$$

则 $a_n + b_n \leq c_n \exp(n\lambda), \quad n \geq 0$.

考虑问题 (I*) 的下面半离散化形式:

问题 (I_h): 求 $(u_h, p_h): [0, t_1] \rightarrow M_h \times X_h$ 使得 $\forall t \in (0, t_1)$. 满足

$$\begin{cases} (u_{ht}, v_h) - (p_h, v_{hx}) = 0, & \forall v_h \in M_h; \\ (p_h, \tau_h) + \nu(u_{hx}, \tau_h) - a(u_h^2, \tau_h)/2 = 0, & \forall \tau_h \in X_h; \\ u_h(x, 0) = P_h \varphi(x), & x \in \Omega. \end{cases} \quad (3.3)$$

定理 2. 若 $\varphi(x) \in L^2(\Omega)$, 则问题 (I_h) 存在惟一的解 $(u_h, p_h) \in M_h \times X_h$, 而且存在与 h 无关的常数 M_1 使得

$$\|u_h\|_0 \leq M_1. \quad (3.4)$$

证明. 设 $\{\phi_i\}_{i=1}^{r_1} \subset X_h$ 和 $\{\psi_i\}_{i=1}^{r_2} \subset M_h$ 是两组基, 并满足

$$(\phi_i, \phi_j) = \delta_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, r_1, (\psi_i, \psi_j) = \delta_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, r_2. \quad (3.5)$$

记

$$p_h = \sum_{j=1}^{r_2} g_j(t) \phi_j(x); \quad u_h = \sum_{i=1}^{r_1} f_i(t) \psi_i(x). \quad (3.6)$$

那么问题 (I_h) 可写为:

求 $f_i(t), i = 1, \dots, r_2$ 和 $g_j(t), j = 1, \dots, r_1$ 使得, $\forall t \in (0, t_1)$

$$f_j'(t) - \sum_{i=1}^{r_1} g_i(t) (\psi_{jx}, \phi_i) = 0, \quad j = 1, \dots, r_2; \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} g_i(t) - a \sum_{s_1, s_2=1}^{r_2} f_{s_1}(t) f_{s_2}(t) (\psi_{s_1} \psi_{s_2}, \phi_i) / 2 \\ + \nu \sum_{s=1}^{r_2} f_s(t) (\psi_{sx}, \phi_i) = 0, \quad i = 1, \dots, r_1; \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$f_i(0) = a_i, \quad i = 1, \dots, r_2, \quad (3.9)$$

其中 $a_i (1 \leq i \leq r_2)$ 由 $P_h \varphi = (a_1, \dots, a_{r_2}) \cdot (\phi_1, \dots, \phi_{r_2})$ 确定. 将 (3.8) 代入 (3.7) 有

$$\begin{aligned} f_j'(t) - a \sum_{i=1}^{r_1} \sum_{s_1, s_2=1}^{r_2} f_{s_1}(t) f_{s_2}(t) (\phi_{s_1} \phi_{s_2}, \phi_i) (\psi_{jx}, \phi_i) \\ + \nu \sum_{i=1}^{r_1} \sum_{s=1}^{r_2} f_s(t) (\psi_{sx}, \phi_i) (\psi_{jx}, \phi_i) = 0, \quad j = 1, \dots, r_2. \end{aligned} \quad (3.10)$$

而 (3.10) 是关于 $f_1(t), f_2(t), \dots, f_{r_1}(t)$ 为未知函数的一阶非线性常微分方程组. 由常微分方程组的 Caratheodory 定理知, 方程组 (3.10) 和 (3.9) 在最大的区间 $[0, t_h] (t_h \leq t_1)$ 上存在一个解.

下面利用某些先验估计去证明: $t_h = t_1$. 在问题 (I_h) 中取 $v_h = u_h, \tau_h = u_{hx}$, 而且注意到 $(u_h u_h, u_{hx}) = 0$ 可得

$$\frac{d}{dt} \|u_h\|_0^2 + 2\nu \|u_{hx}\|_0^2 = 0. \quad (3.11)$$

对 (3.11) 从 0 到 t 积分, 而且由初始条件和引理 1 得

$$\|u_h\|_0 + \int_0^t \|u_{hx}\|_0^2 ds \leq \|P_h \varphi\|_0, \quad \forall t \in [0, t_1]. \quad (3.12)$$

这个估计保证了 (3.10) 和 (3.9) 的解不会在 $[0, t_1]$ 中断裂, 因此 (3.10) 和 (3.9) 在 $[0, t_1]$ 上存在整体解 $f_1(t), f_2(t), \dots, f_{r_2}(t)$. 将它们代入 (3.8) 得 $g_j(t), j = 1, 2, \dots, r_1$, 即问题 (I_h) 存在一个解 $(u_h, p_h) \in M_h \times X_h$. 由定积分的性质 (可积必有界) 及 (3.12) 可得

$$\|u_{hx}\|_0 \leq \bar{M}(\|\varphi\|_0).$$

再由嵌入定理 (参见 [3, 13]) 有

$$\|u_h\|_{0,\infty} \leq C \|u_{hx}\|_0 \leq CM(\|\varphi\|_0) \equiv M_1. \quad (3.13)$$

与定理 1 的证明同理可证得问题 (I_h) 的解是惟一的。定理 2 证毕。

在问题 (I^*) 中取 $v = v_h, \tau = \tau_h$, 而且减去 (I_h) 得

$$(p - p_h, \tau_h) - a(u^2 - u_h^2, \tau_h)/2 + \nu(\tau_h, u_x - u_{hx}) = 0, \forall \tau_h \in X_h; \quad (3.14)$$

$$(u_t - u_{ht}, v_h) - (p - p_h, v_{hx}) = 0, \quad \forall v_h \in M_h. \quad (3.15)$$

定理 3. 在定理 1-2 的条件下, 如果 $(u, p) \in H^{m+2}(\Omega) \times H^{m+1}(\Omega)$ 而且 $\varphi \in H^{m+2}(\Omega), \kappa = m+1 \geq 1$, 则下面估计成立。

$$\|u - u_h\|_1 \leq Ch^{m+1} \|\varphi\|_{m+2}. \quad (3.16)$$

$$\|p - p_h\|_0 \leq Ch^{m+1} \|\varphi\|_{m+2}. \quad (3.17)$$

证明. 由误差方程 (3.14)-(3.15) 和引理 2-3 可有

$$\begin{aligned} (u_t - u_{ht}, u - u_h) &= (u_t - u_{ht}, u - P_h u) + (u_t - u_{ht}, P_h u - u_h) \\ &= (u_t - u_{ht}, u - P_h u) + (p - p_h, (P_h u - u_h)_x) \\ &= (u_t - u_{ht}, u - P_h u) + (p - p_h, (P_h u - u)_x) + (p - p_h, (u - u_h)_x) \\ &= (u_t - u_{ht}, u - P_h u) + (p - p_h, (P_h u - u)_x) \\ &\quad + (p - r_h p, (u - u_h)_x) + (r_h p - p_h, (u - u_h)_x) \\ &= (u_t - P_h u_t, u - P_h u) + (p - p_h, (P_h u - u)_x) \\ &\quad + (p - r_h p, u_x - r_h u_x) - \nu^{-1}(p - p_h, r_h p - p + p - p_h) \\ &\quad + \nu^{-1}(u^2 - u_h^2, r_h p - p + p - p_h)/2. \end{aligned}$$

从而由 Hölder 不等式和 Cauchy 不等式有:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|u - u_h\|_0^2 + \nu^{-1} \|p - p_h\|_0^2 &\leq \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|u - P_h u\|_0^2 \\ &\quad + C(\|u - P_h u\|_0^2 + \|p - r_h p\|_0^2 + \|u_x - r_h u_x\|_0^2) \\ &\quad + (M_2^2 \nu^{-1} + \theta_0^2/2) \|u - u_h\|_0^2 + \nu^{-1} \|p - p_h\|_0^2/2, \end{aligned} \quad (3.18)$$

其中 $M_2 = \max\{M_0, M_1\}$, θ_0 是任意可以选取的常数. 则由上式可得

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \|u - u_h\|_0^2 + \nu^{-1} \|p - p_h\|_0^2 &\leq \frac{d}{dt} \|u - P_h u\|_0^2 + C(\|u - P_h u\|_0^2 \\ &\quad + \|p - r_h p\|_0^2 + \|u_x - r_h u_x\|_0^2) + (2M_2^2 \nu^{-1} + \theta_0^2) \|u - u_h\|_0^2. \end{aligned} \quad (3.19)$$

上式两边从 0 到 t 积分并注意到 $(u - P_h u)(0) = (u - u_h)(0) = \varphi - P_h \varphi$ 可得:

$$\|u - u_h\|_0^2 + \nu^{-1} \|p - p_h\|_0^2 \leq Ch^{2(m+1)} \|\varphi\|_{m+2}^2 + (2M_2^2 \nu^{-1} + \theta_0^2) \int_0^t \|u - u_h\|_0^2 ds. \quad (3.20)$$

由 Gronwall 引理 1 可得:

$$\|u - u_h\|_0^2 \leq Ch^{2(m+1)} \|\varphi\|_{m+2}^2,$$

即得

$$\|u - u_h\|_0 \leq Ch^{m+1} \|\varphi\|_{m+2}. \quad (3.21)$$

$$\|p - p_h\|_0 \leq Ch^{(m+1)} \|\varphi\|_{m+2}. \quad (3.22)$$

再由 (3.2) 和 (3.14) 可有:

$$\begin{aligned} \|u - u_h\|_1 &\leq \|u - P_h u\|_1 + C \|P_h u - u_h\|_1 \\ &\leq \|u - P_h u\|_1 + C \sup_{\tau_h \in X_h} [((P_h u - u_h)_x, \tau_h) / \|\tau_h\|_0] \\ &= \|u - P_h u\|_1 + C \sup_{\tau_h \in X_h} [((u - u_h)_x, \tau_h) + ((P_h u - u)_x, \tau_h)] / \|\tau_h\|_0 \\ &\leq C [\|u - P_h u\|_1 + \nu^{-1} \sup_{\tau_h \in X_h} [a(u^2 - u_h^2, \tau_h) / 2 - (p - p_h, \tau_h)] / \|\tau_h\|_0] \\ &\leq C [h^{m+1} \|\varphi\|_{m+2} + \|p - p_h\|_0 + \|u - u_h\|_0] \leq Ch^{m+1} \|\varphi\|_{m+2}. \end{aligned} \quad (3.23)$$

由上式即得 (3.16)。定理 3 证毕。

附注: (3.21) 的估计是不丰满的, 利用 Nitsche 技巧可以导出下面丰满的估计:

$$\|u - u_h\|_0 \leq Ch^{m+2} \|\varphi\|_{m+2}. \quad (3.24)$$

4. 全离散化的混合有限元解的存在性及其误差分析

设 L 是一个正整数, $k = t_1/L$ 是时间步长, $t^{(n)} = nk$, $0 \leq n \leq L$, $(u_h^n, p_h^n) \in M_h \times M_h$ 是 $(u(t^{(n)}), p(t^{(n)})) \equiv (u^n, p^n)$ 的有限元逼近. 则问题 (I*) 的全离散化的混合有限元解可表示为:

问题 (I_hⁿ): 求 $(u_h^n, p_h^n) \in M_h \times X_h$ 满足, $1 \leq n \leq L$,

$$\begin{cases} (p_h^n, \tau_h) + \nu(u_{hx}^n, \tau_h) = a(u_h^{n-1} u_h^{n-1}, v_h) / 2, \quad \forall \tau_h \in X_h; \\ (u_h^n, v_h) - k(v_{hx}, p_h^n) = (u_h^{n-1}, v_h), \quad \forall v_h \in M_h; \\ u_h^0 = P_h \varphi(x), \quad x \in \Omega. \end{cases} \quad (4.1)$$

定理 4. 在定理 1-3 的条件下, 问题 (I_hⁿ) 存在唯一的解 $(u_h^n, p_h^n) \in M_h \times M_h$, 而且当 k 充分小, $\kappa = m \geq 1$ 时, 有下列估计:

$$\|u^n - u_h^n\|_0 + \nu^{-1/2} k^{1/2} \sum_{j=1}^n (\|u^j - u_h^j\|_1 + \|p^j - p_h^j\|_0) \leq C(h^s + k), \quad (4.2)$$

其中 $1 \leq s \leq \min\{\kappa, m+1\}$.

证明. 设

$$u_h^n = \sum_{i=1}^{r_2} \eta_i(t^{(n)}) \psi_i(x), \quad p_h^n = \sum_{j=1}^{r_1} \xi_j(t^{(n)}) \phi_j(x),$$

其中 $\{\phi_i\}_{i=1}^{r_1} \subset X_h$ 和 $\{\psi_i\}_{i=1}^{r_2} \subset M_h$ 是两组标准正交基 (见 (3.5) 式). 则问题 (I_hⁿ) 可写为:

求 $\eta = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_{r_2})^T, \xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{r_1})^T$ 满足

$$\begin{pmatrix} A & \nu B^T \\ -kB & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F \\ G \end{pmatrix}, \quad (4.3)$$

其中 $A = ((\phi_i, \phi_j))_{r_1 \times r_1}$ 和 $D = ((\psi_i, \psi_j))_{r_2 \times r_2}$ 是两个正定矩阵, 对比问题 (I_h^n) 可知 B, F, G, ξ 和 η 的含义。不难证明 (4.3) 的系数矩阵是可逆的, 故方程 (4.3) 即问题 (I_h^n) 存在唯一的解 $(u_h^n, p_h^n) \in M_h \times X_h$.

记 $\bar{\partial}_t u^n = (u^n - u^{n-1})/k$. 在问题 (I^*) 中取 $t = t^{(n)}, \tau = \tau_h, v = v_h$, 而且与问题 (I_h^n) 相减得:

$$(p^n - p_h^n, \tau_h) + \mu((u^n - u_h^n)_x, \tau_h) - ((u^n u^n - u_h^{n-1} u_h^{n-1}), \tau_h)/2, \quad \forall \tau_h \in X_h; \quad (4.4)$$

$$(u_t^n - \bar{\partial}_t u_h^n, v_h) - ((p^n - p_h^n), v_{hx}) = 0, \quad \forall v_h \in M_h, \quad (4.5)$$

再记 $\xi^n = P_h u^n - u_h^n$, 则由 (4.1)、(2.5)、(4.4)-(4.5)、引理 2-3 有:

$$\begin{aligned} (\bar{\partial}_t \xi^n, \xi^n) &= (\bar{\partial}_t P_h u^n - \bar{\partial}_t u_h^n, \xi^n) \\ &= (\bar{\partial}_t P_h u^n, \xi^n) - (\xi^n, p_h^n) \\ &= (\bar{\partial}_t P_h u^n, \xi^n) - (\xi^n, p_h^n - p^n) - (\xi^n, p^n) \\ &= (\bar{\partial}_t P_h u^n - u_t^n, P_h u^n - u_h^n) - ((P_h u^n - u^n), p_h^n - p^n) \\ &\quad - ((u^n - u_h^n)_x, p_h^n - p^n) \\ &= (\bar{\partial}_t P_h u^n - \bar{\partial}_t u^n - \bar{\partial}_t u^n - u_t^n, P_h u^n - u_h^n) + ((u^n - u_h^n)_x, p^n - r_h p^n) \\ &\quad - ((P_h u^n - u^n)_x, p_h^n - p^n) - ((u^n - u_h^n)_x, p^n - r_h p^n) \\ &= (\bar{\partial}_t u^n - u_t^n, P_h u^n - u_h^n) - ((P_h u^n - u^n), p_h^n - p^n) \\ &\quad + ((u^n - P_h u^n)_x, p^n - r_h p^n) - \nu^{-1}(p^n - p_h^n, r_h p^n - p_h^n) \\ &\quad - \nu^{-1}a(u^{n2} - u^{(n-1)2}, r_h p^n - p_h^n)/2 \\ &= (\bar{\partial}_t u^n - u_t^n, P_h u^n - u_h^n) - ((P_h u^n - u^n)_x, p_h^n - p^n) \\ &\quad + ((u^n - P_h u^n)_x, p^n - r_h p^n) - \nu^{-1}(p^n - p_h^n, p^n - p_h^n) \\ &\quad + \nu^{-1}(p^n - r_h p^n, p^n - r_h p^n) - \nu^{-1}a(u^{n2} - u^{(n-1)2}, r_h p^n - p_h^n)/2. \end{aligned}$$

上式移项, 并由 Hölder 不等式和 Cauchy 不等式可得:

$$\begin{aligned} \|\xi^n\|_0^2 - \nu^{-1}\|p^n - p_h^n\|_0^2 &\leq \frac{1}{2}\|\xi^n\|_0^2 + \frac{1}{2}\|\xi^{n-1}\|_0^2 \\ &\quad + k[2\|u^n - P_h u^n\|_1^2 + (\frac{1}{2} + 7\nu^{-1})\|p^n - r_h p^n\|_0^2 \\ &\quad + \frac{1}{2}(\|\bar{\partial}_t u^n - u_t^n\|_0^2 + \|\xi^n\|_0^2 + 3\nu^{-1}M_2^2\|u^{n-1} - u_h^{n-1}\|_0^3 \\ &\quad + \frac{1}{3}k^2\nu^{-1}M_2^2\|u_t^n\|_0^2 + k\nu^{-1}\|p^n - p_h^n\|_0^2)]. \end{aligned} \quad (4.6)$$

记 $M_3 = \max_{0 \leq t \leq t_1} \{\|u\|_{m+2}^2, \|u_t\|_0^2, |u_{tt}^2|\}$, 注意到 $p = u^2/2 - \nu u_x$, 则由 (4.6) 可得:

$$\begin{aligned} \|\xi^n\|_0^2 + \nu^{-1}k\|p^n - p_h^n\|_0^2 &\leq \|\xi^{n-1}\|_0^2 + kM_3C[(5 + 14\nu^{-1})h^{2s} + k^2\nu^{-1}M_2] \\ &\quad + k\|\bar{\partial}_t u^n - u_t^n\|_0^2 + k\|\xi^n\|_0^2 + 3k\nu^{-1}M_2^2\|\xi^{n-1}\|_0^2. \end{aligned} \quad (4.7)$$

上式两边从 1 到 n 求和, 而且注意到 $\xi^0 = 0$, 可有:

$$\begin{aligned} \|\xi^n\|_0^2 + \nu^{-1}k \sum_{j=1}^n \|p^j - p_h^j\|_0^2 &\leq nkC(h^{2s} + k^2) \\ &\quad + k \sum_{j=1}^n \|\bar{\partial}_t u^j - u_t^j\|_0^2 + k \sum_{j=1}^n \|\xi^j\|_0^2 + kC \sum_{j=0}^{n-1} \|\xi^j\|_0^2. \end{aligned} \quad (4.8)$$

当 k 充分小, 如 $Ck \leq 1/2$ 时, (4.7) 可写为:

$$\|\xi^n\|_0^2 + \nu^{-1}k \sum_{j=1}^n \|p^j - p_h^j\|_0^2 \leq nkC(h^{2s} + k^2) + Ck \sum_{j=1}^n (\|\bar{\partial}_t u^j - u_t^j\|_0^2 + \|\xi^j\|_0^2). \quad (4.9)$$

由于

$$\|\bar{\partial}_t u^j - u_t^j\|_0 = \|k^{-1}(u^j - u^{j-1}) - u_t^j\|_0 = \|k^{-1} \int_{\Delta t_j} (s - t^{(j-1)}) u_{tt}(s) ds\|_0, \quad (4.10)$$

则有:

$$k \sum_{j=1}^n \|\bar{\partial}_t u^j - u_t^j\|_0 \leq M_3 nk^3/4. \quad (4.11)$$

于是, 当 k 足够小, 如 $k \leq 1/2$ 时, 由 (4.9)-(4.11) 可得:

$$\|\xi^n\|_0^2 + \nu^{-1}k \sum_{j=1}^n \|p^j - p_h^j\|_0^2 \leq nkC(h^{2s} + k^2) + kC \sum_{j=0}^{n-1} \|\xi^j\|_0^2. \quad (4.12)$$

在引理 4 中取

$$a_n = \|\xi^n\|_0^2, \quad b_n = \nu^{-1}k \sum_{j=1}^n \|p^j - p_h^j\|_0^2, \quad c_n = nkC(h^{2s} + k^2), \quad n = 1, 2, \dots. \quad (4.13)$$

由于 $c_0 = 0$, $a_0 = 0$, 从而可定义 $b_0 = 0$, 则由引理 4 得:

$$\|\xi^n\|_0^2 + \nu^{-1}k \sum_{j=1}^n \|p^j - p_h^j\|_0^2 \leq knC(h^{2s} + k^2) \exp(knC) \leq C(t^{(n)})(h^{2s} + k^2). \quad (4.14)$$

于是, 有:

$$\begin{aligned} \|u^n - u_h^n\|_0 &+ \nu^{-1/2}k^{1/2} \sum_{j=1}^n \|p^j - p_h^j\|_0 \leq \|u^n - P_h u^n\|_0 + \|\xi^n\|_0 \\ &+ \nu^{-1/2}k^{1/2} \sum_{j=1}^n \|p^j - p_h^j\|_0 \leq C(h^s + k). \end{aligned} \quad (4.15)$$

由 (3.2) 和 (4.4) 有:

$$\begin{aligned} |u^n - u_h^n|_1 &\leq |u^n - P_h u^n|_1 + |P_h u^n - u_h^n|_1 \\ &\leq |u^n - P_h u^n|_1 + \sup_{\tau_h \in X_h} \frac{b(P_h u^n - u_h^n, \tau_h)}{\|\tau_h\|_0} \\ &\leq C|u^n - P_h u^n|_1 + \sup_{\tau_h \in X_h} \frac{a(u^{n2} - u_h^{(n-1)2}, \tau_h) - (p^n - p_h^n, \tau_h)}{\|\tau_h\|_0} \\ &\leq C(h^{m+1} + k) + \nu(\|p^n - p_h^n\|_0 + M_2\|u^{n-1} - u_h^{n-1}\|_0). \end{aligned} \quad (4.16)$$

由 (4.15) 和 (4.16) 可得 (4.2)。定理 4 证毕。

附注: 由 (4.15) 得到的 $\|u^n - u_h^n\|_0$ 的估计是不丰满的, 可以利用 Nitsche 技巧导出下面一个几乎丰满的估计:

$$\nu^{-1/2}k^{1/2}\|u^n - u_h^n\|_0 \leq C(h^{m+2} + k), \quad \text{当 } \kappa = m + 1 \text{ 时}. \quad (4.17)$$

5. 全离散化的混合有限元解的数值模拟

下面以一次元为例, 说明 Burgers 方程的混合有限元解的计算方法. 混合有限元空间 M_h 和 X_h 都取为分片一次多项式. 把 $[a_1, b_1]$ 分成 $l = (b_1 - a_1)/h$ 个相等的小单元 $K_i = [x_i, x_{i+1}]$, $0 \leq i \leq l-1$, 在每个单元 K_i 上的一次插值基函数为:

$$N_i = (x_{i+1} - x)/h; \quad M_i = (x - x_i)/h. \quad (5.1)$$

在单元 K_i 上, 令

$$p_h^n = p_i^n N_i + p_{i+1}^n M_i, \quad u_h^n = u_i^n N_i + u_{i+1}^n M_i. \quad (5.2)$$

则有

$$\frac{du_h^n}{dx} = \frac{dN_i}{dx} u_i^n + \frac{dM_i}{dx} u_{i+1}^n = \left(\frac{-1}{h}, \frac{1}{h}\right)(u_i^n, u_{i+1}^n)^T. \quad (5.3)$$

从而在单元 K_i 上有

$$\begin{aligned} \int_{K_i} (N_i, M_i)^T (N_i, M_i) dx (p_i^n, p_{i+1}^n)^T + \nu \int_{K_i} (N_i, M_i)^T \left(\frac{-1}{h}, \frac{1}{h}\right) dx (u_i^n, u_{i+1}^n)^T \\ = \frac{1}{2} \int_{K_i} (N_i, M_i)^T (N_i u_i^{n-1} + M_i u_{i+1}^{n-1})^2 dx, \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} -k \int_{K_i} \left(\frac{-1}{h}, \frac{1}{h}\right)^T (N_i, M_i) dx (p_i^n, p_{i+1}^n)^T + \int_{K_i} (N_i, M_i)^T (N_i, M_i) dx (u_i^n, u_{i+1}^n)^T \\ = \frac{1}{2} \int_{K_i} (N_i, M_i)^T (N_i u_i^{n-1} + M_i u_{i+1}^{n-1}) dx, \end{aligned} \quad (5.5)$$

即

$$\begin{pmatrix} 4h & 2h & -6\nu & 6\nu \\ 2h & 4h & -6\nu & 6\nu \\ 6k & 6k & 4h & 2h \\ -6k & -6k & 2h & 4h \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_i^n \\ p_{i+1}^n \\ u_i^n \\ u_{i+1}^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_i^{n-1} \\ F_{i+1}^{n-1} \\ f_i^{n-1} \\ f_{i+1}^{n-1} \end{pmatrix}, \quad (5.6)$$

其中

$$\begin{cases} F_i^{n-1} = h[3(u_i^{n-1})^2 + (u_{i+1}^{n-1})^2 + 2u_i^{n-1}u_{i+1}^{n-1}]/2, \\ F_{i+1}^{n-1} = h[(u_i^{n-1})^2 + 3(u_{i+1}^{n-1})^2 + 2u_i^{n-1}u_{i+1}^{n-1}]/2, \\ f_i^{n-1} = h(4u_i^{n-1} + 2u_{i+1}^{n-1}), \\ f_{i+1}^{n-1} = h(2u_i^{n-1} + 4u_{i+1}^{n-1}). \end{cases} \quad (5.7)$$

由 (5.6) 可得到在单元 K_i 上的解为:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_i^n = u_i^{n-1} + \frac{1}{h^2 + 12\nu k} \left\{ \frac{6\nu k^2}{h} (u_{i+1}^{n-1} - u_i^{n-1}) \right. \\ \quad \left. - kh[(u_i^{n-1})^2 - (u_{i+1}^{n-1})^2 + u_i^{n-1} u_{i+1}^{n-1}] \right\}; \\ u_{i+1}^n = u_{i+1}^{n-1} + \frac{1}{h^2 + 12\nu k} \left\{ \frac{6\nu k^2}{h} (u_{i+1}^{n-1} - u_i^{n-1}) \right. \\ \quad \left. - kh[(u_i^{n-1})^2 - (u_{i+1}^{n-1})^2 + u_i^{n-1} u_{i+1}^{n-1}] \right\}; \\ p_i^n = \frac{1}{h^2 + 12\nu k} \{ 3\nu k [(u_i^{n-1})^2 - (u_{i+1}^{n-1})^2] - \nu h (u_{i+1}^{n-1} - u_i^{n-1}) \\ \quad - \frac{h^2}{12} [5(u_i^{n-1})^2 - (u_{i+1}^{n-1})^2 + 2u_i^{n-1} u_{i+1}^{n-1}] \}; \\ p_{i+1}^n = \frac{1}{h^2 + 12\nu k} \{ 3\nu k [(u_{i+1}^{n-1})^2 - (u_i^{n-1})^2] - \nu h (u_{i+1}^{n-1} - u_i^{n-1}) \\ \quad + \frac{h^2}{12} [5(u_{i+1}^{n-1})^2 - (u_i^{n-1})^2 + 2u_i^{n-1} u_{i+1}^{n-1}] \}; \end{array} \right. \quad (5.8)$$

从而得到 (u_h^n, p_h^n) 在节点 x_i ($i = 0, 1, \dots, l$) 的值:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_0^n = 0; \\ u_i^n = u_i^{n-1} + \frac{1}{h^2 + 12\nu k} \left\{ \frac{3\nu k^2}{h} (u_{i+1}^{n-1} - u_{i-1}^{n-1}) + \frac{kh}{2} [(u_{i-1}^{n-1})^2 \right. \\ \quad \left. - (u_{i+1}^{n-1})^2 + u_{i-1}^{n-1} u_{i+1}^{n-1} - u_{i+1}^{n-1} u_{i-1}^{n-1}] \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, l-1; \\ u_l^n = 0; \\ p_0^n = \frac{1}{h^2 + 12\nu k} \{ 3\nu k [(u_0^{n-1})^2 - (u_1^{n-1})^2] - \nu h (u_1^{n-1} - u_0^{n-1}) \\ \quad + \frac{h^2}{12} [5(u_0^{n-1})^2 - (u_1^{n-1})^2 + 2u_0^{n-1} u_1^{n-1}] \}; \\ p_i^n = \frac{1}{2h^2 + 24\nu k} \left\{ \frac{h^2}{12} [10(u_i^{n-1})^2 - (u_{i-1}^{n-1})^2 - (u_{i+1}^{n-1})^2 + 2u_i^{n-1} u_{i+1}^{n-1} \right. \\ \quad \left. + 2u_i^{n-1} u_{i-1}^{n-1}] - 3\nu k [(u_{i+1}^{n-1})^2 - 2(u_i^{n-1})^2 + (u_{i-1}^{n-1})^2] \right. \\ \quad \left. - \nu h (u_{i+1}^{n-1} - u_{i-1}^{n-1}) \right\}, \quad i = 1, 2, \dots, l-1; \\ p_l^n = \frac{1}{h^2 + 12\nu k} \{ 3\nu k [(u_l^{n-1})^2 - (u_{l-1}^{n-1})^2] - \nu h (u_l^{n-1} - u_{l-1}^{n-1}) \\ \quad + \frac{h^2}{12} [5(u_l^{n-1})^2 - (u_{l-1}^{n-1})^2 + 2u_l^{n-1} u_{l-1}^{n-1}] \}. \end{array} \right. \quad (5.9)$$

只要给出初始函数 $u(0) = \varphi(x)$, 按需要选定时间步长 k , 空间步长 h , 参数 a 和粘性系数 $\nu = \frac{1}{\text{Re}}$ (Re 表示 Reynolds 数), 就可以由 (5.9) 求出对应于此初始函数的混合有限元解。

例 1. 取 $[a_1, b_1] = [0, 1]$, 并取初始函数为

$$u(0) = \varphi(x) = \sin(\pi x), \quad x \in [0, 1].$$

取 $a = 1$, $h = 0.01$, $k = 0.01$, $\nu = 1/\text{Re} = 1/48$. 将 $[0, 1]$ 剖分为 $l = (b_1 - a_1)/h = 100$ 个相同的小区。由 (5.9) 可解出问题 (I_h^n) 的解 (u_h^n, p_h^n) 如图 1 和图 2。

结束语: 与 [12] 中的有限差分算法的数值结果比较可知, 我们的数值结果是很理想的。由于我们引入了中间变量 $p = au^2/2 - \nu u_r$ (流函数), 所以, 我们的数值结果是稳定的。如果需要得到更高精度的近似解, 可以采用较高次的插值。因此, 混合有限元法有其独特的优点。特别是, 用混合有限元法能一举同时求出速度和通量的近似解, 这是其他方法所不及的。

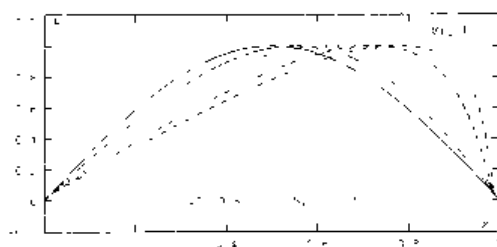


图 1. 速度混合有限元解

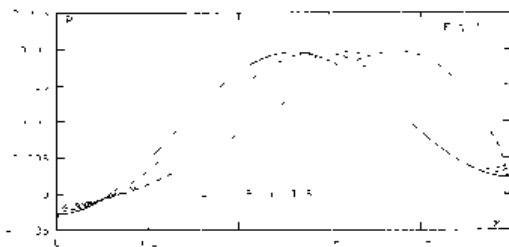


图 2. 流体通量分布图

致谢 作者衷心感谢石钟慈院士、舒其望教授对本文工作的帮助。

参 考 文 献

- [1] R.S.Falk, J.E.Osborn. Error estimates for mixed methods. *RAIRO, Numer. Anal.*, 14 (1980), 249-277.
- [2] F.Brezzi, M.Fortin. *Mixed and Hybrid Finite Element Methods*. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 1991.
- [3] 罗振东. 有限元混合法理论基础及其应用. 发展与应用, 山东教育出版社, 济南, 1996.
(Z.D.Luo. *Theory Bases and Applications of Finite Element and Mixed Finite Element Methods. Evolutions and Applications*, Shan Dong Educational Press, 1996.)
- [4] D.N.Arnold, J.Douglas Jr., C.P.Gupta. A family of higher order mixed finite element methods for plane elasticity. *Numer. Math.*, 45(1984), 1-22.
- [5] P.Monk. A mixed finite element method for biharmonic equation. *SIAM J. Numer. Anal.*, 24 (1987), 737-749.
- [6] C.Bernardi, G.Raugel. Analysis of some finite elements for the Stokes problems. *Math. Comp.*, 44 (1985), 71-80.
- [7] V.Girault, P.A.Raviart. *Finite Element Methods for Navier- Stokes Equations. Theorem and Algorithms*, Springer-Verlag, 1986.
- [8] S.M.F.Garcia. Improved error estimates for nonlinear parabolic equations: The direct time case. *Numer. Methods PDEs*, 10 (1994), 149-169.
- [9] B.Heise. Analysis of a fully discrete finite element method for a nonlinear magnetic field problem. *SIAM J. Numer. Anal.*, 31 (1994), 745-759.
- [10] 忻孝康, 刘儒勋, 蒋伯诚. 计算流体力学. 国防科技大学出版社, 长沙, 1994.
(X.K.Xin, R.X.Liu and B.C.Jiang. *Computational Fluid Dynamics*. National Defence Scientific and Technical Press, 1989.)
- [11] 傅德熏. 流体力学数值模拟. 国防工业出版社, 北京, 1994.
(D.X.Fu. *Numerical Simulations of Fluid Mechanics*. National Defence Industry Press, 1994.)
- [12] C.A.Fletcher. A comparison of finite element and finite difference solution of the one-and two-dimensional Burgers' equations. *J. Comp. Phys.*, 51 (1983), 159-188.
- [13] R.A.Adams. *Sobolev Spaces*. Academic Press, New York, 1975.
- [14] Y.D.Shang. Initial boundary value problem for a class of generalized Burgers type equations. *Mathematica Applicata*, 9 (1996), 166-171.
- [15] P.G.Ciarlet. *The Finite Element Method for Elliptic Problems*. North Holland, Amsterdam, 1978.

附录 B 一篇英文文章源文件的输入样板

```
\documentstyle[twoside]{article}
\textwidth 126mm
\textheight 200mm
\begin{document}
\parindent 15pt
\renewcommand{\theequation}{\thesection.\arabic{equation}}
\pagenumbering{arabic}
\pagestyle{myheadings}
\renewcommand{\baselinestretch}{1.15}
\renewcommand{\arraystretch}{1.1}
\headsep=6mm
\headheight=5mm
\topmargin=0pt
\oddsidemargin=0pt
\evensidemargin=0pt
\arraycolsep=1.5pt
\doublerulesep=0pt
\def\disp{\displaystyle}
\markboth{
\hfill{\footnotesize LUO ZHENDONG
}\hfill }
{\hfill{\footnotesize Method of Non conforming Mixed Finite Element for
Second Order Elliptic Problems
}\hfill}.
\vspace*{-1.5cm}

\markboth
{\pushziti{\protect\kaishu\zihao{5}\hfill 排版软件 LATEX 简明手册 (第二版)\hfill}\popziti}
{\pushziti{\protect\kaishu\zihao{5}\hfill
附录 II 一篇英文文章的源文件的输入样板 \hfill} \popziti}
\vspace*{1cm}
\title{{
\normalsize\bf METHOD OF NONCONFORMING MIXED FINITE
ELEMENT FOR SECOND ORDER ELLIPTIC PROBLEMS*${}^{\{1\}}$}
\footnotetext{*Received November 22, 1996.}
\footnotetext{(1)Project supported by the National Science
Foundation of China, the National Science
```


Foundation of Beijing and China Postdoctoral sciences Foundation.

}

\author{\small Luo Zhendong \}

({\em\small Department of Mathematics, Capital Normal
University, Beijing 100037}})

\date{} }

\maketitle

\vspace{-0.5cm}

\begin{center}

{\small\bf Abstract}

\end{center}

\begin{center}

\begin{minipage}{120mm}

\hspace{0.5cm}

{\small

In this paper, the method of non-conforming mixed finite element
for second order elliptic problems is discussed and a format of
real optimal order for the lowest order error estimate.}

\vspace*{0.4cm}

\hspace*{0.5cm}

{\small 1991 {\it Mathematics Subject Classifications.}

Primary 65N30, 35Q10}

\vspace{0.4cm}

\hspace{0.5cm}

{\small{\bf Key words and phrases.}

non-conforming mixed finite element, error estimate,
second order elliptic problems.}

\end{minipage}

\end{center}

\begin{center}

{\section*{{\normalsize\bf 1. Introduction}}}

\end{center}

\setcounter{section}{1}

\setcounter{equation}{0}

Recently Hiptmiar (see[1]) and Farhloul \& Fortin (see[2]) have
constructed and analyzed some non-conforming finite element mixed
methods for second order elliptic problems:

\begin{equation}

\left\{ \begin{array}{ll}

$$-\{\mathrm{div}\}(\mathbf{a}\nabla u)=f, \quad \text{on } \partial\Omega,$$

$$u=0, \quad \text{on } \partial\Omega,$$

where $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ ($n=2,3$) is a bounded open field with Lipschitz continuous boundary $\partial\Omega$, f is a given function of the space $L^2(\Omega)$ and $\mathbf{a} \in L^\infty(\Omega)$ is assumed to be uniformly positive and bounded:

$$0 < a_1 \leq \mathbf{a}(\mathbf{x}) \leq a_2, \quad \mathbf{x} \in \bar{\Omega}.$$

Introducing the auxiliary variable $\mathbf{p} = \mathbf{a}\nabla u$, the problems (1.1) may be written as the system:

$$\begin{cases} \mathbf{p} - \mathbf{a}\nabla u = 0, \\ \{\mathrm{div}\} \mathbf{p} = -f, \\ u = 0, \end{cases} \quad \text{on } \partial\Omega.$$

Then the mixed variational formulation of (1.3) is:

Find $(\mathbf{p}, u) \in \mathbf{H} \times M$ such that

$$\begin{cases} \mathbf{a}(\mathbf{p}, \mathbf{q}) + \mathbf{b}(\mathbf{q}, u) = 0, \\ \mathbf{b}(\mathbf{p}, \mathbf{v}) = -(\mathbf{f}, \mathbf{v}), \end{cases} \quad \text{for all } \mathbf{q} \in \mathbf{H}, \mathbf{v} \in M.$$

where $\mathbf{H} = \mathbf{H}(\{\mathrm{div}\}; \Omega) = \{\mathbf{q} \in L^2(\Omega)^n; \{\mathrm{div}\} \mathbf{q} \in L^2(\Omega)\}$, $M = L^2(\Omega)$, $\mathbf{a}(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = (\mathbf{a}^{-1} \mathbf{p}, \mathbf{q})$, $\mathbf{b}(\mathbf{q}, \mathbf{v}) = (\{\mathrm{div}\} \mathbf{q}, \mathbf{v})$ and (\cdot, \cdot) is the inner product in $L^2(\Omega)$ or $L^2(\Omega)^n$.

Let \mathcal{T}_h be a regular triangulation of $\bar{\Omega}$ (cf.[3]) and \mathbf{P}_h be the space of polynomials of degrees less or equal to l (where $l \geq 0$ is an integer). The non-conforming discretization of the problem (1.4). constructed in [1] and [2], is to consider two finite-dimensional spaces \mathbf{H}_h and M_h such that

1) There is an integer $k \geq 0$ such that $\mathcal{RT}^k(\mathcal{I}_h) \subset H_h$, where $\mathcal{RT}^k(\mathcal{I}_h)$ is the space of vector field arising from k th order Raviart–Thomas elements (see [4]).

2) The moments up to order $l \leq k$ of the discrete flux are continuous across inter elements boundaries, i.e.

$$\int_{\mathcal{I}_h} (q_{h|K_i} n_i + q_{h|K_j} n_j) p_l(\mathbf{r}) d\mathbf{x} = 0,$$

$\forall p_l \in P_l$

for all internal faces $\mathcal{S} = \partial K_i \cap \partial K_j$ ($i \neq j$)

and all $q_h \in \mathcal{Q}_h \cap H_h$ (where n_i denotes the unite outward normal on ∂K_i).

3) M_h has to satisfy the following condition: if $\forall q_h \in H_h$ and

$$\sum_{K \in \mathcal{I}_h} \int_K \{\operatorname{div}\} q_h \mathbf{v}_h(\mathbf{r}) d\mathbf{x} = 0, \quad \forall \mathbf{v}_h \in M_h,$$

then $\{\operatorname{div}\} q_h|_K = 0, \quad \forall K \in \mathcal{I}_h$.

The non-conformity of this discretization is due to the fact that the discrete flux is not necessarily continuous across inter element boundaries. Hiptemair (see [1]) has proved the convergence and given error estimates for this non-conforming mixed finite elements for $k \geq l \geq 1$. His analysis is based so-called "Generalized Patch Test" (cf. [5]). Farhloul & Fortin have derived a non-conforming approximation of the lowest order in the two-dimensional case (see [2]). We have found that Farhloul & Fortin's format is not optimal as the approximation of the flux $p_h|_K \in P_1(K)$, $\forall K \in \mathcal{I}_h$, but its accuracy on L^2 norm is only $\mathcal{O}(h)$. One knows that if $H_h \subset L^2(\Omega)^n$, $\forall p_h, q_h \in H_h$, $\mathcal{a}(p_h, q_h)$ is continuous. Therefore, the error estimates of non-conforming mixed finite element are due to the estimates causing by bilinear forms $\mathcal{b}(\cdot, \cdot)$. But in [1], the estimates of non-conforming element causing by $\mathcal{a}(\cdot, \cdot)$ and $\mathcal{b}(\cdot, \cdot)$ are all discussed. Thus, much work is in vain because $\mathcal{a}(\cdot, \cdot)$ cannot cause the error estimates of non-conforming element.

In this paper, C denotes a positive constant independent of h , but may be inequality in different positions.

2. The Non-conforming Element Analysis

Let $H_h \not\subset H$, M_h be satisfied 1)–2) in the section 1. Then the discrete problem of (1.4) reads as follows:

Find $(p_h, u_h) \in H_h \times M_h$ such that

$$\begin{aligned} & \text{\texttt{\begin{equation}}} \\ & \text{\texttt{\label{2.1}}} \\ & \text{\texttt{\left\{ \begin{array}{l} \\ a(p_h, q_h) + b_h(q_h, u_h) = 0, \hspace{0.5cm} \& \text{\texttt{\forall}} q_h \in H_h, \\ b_h(p_h, v_h) = -(f, v_h), \& \text{\texttt{\forall}} v_h \in M_h, \end{array} \right\}}} \\ & \text{\texttt{\end{equation}}} \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} & \text{\texttt{\begin{equation}}} \\ & \text{\texttt{\label{2.2}}} \\ & b_h(q, v) = \sum_{K \in \mathcal{T}_h} \int_K \{\operatorname{div}\} q \operatorname{vdx}, \\ & \text{\texttt{\in}} M, \text{\texttt{\forall}} q \in H_h \bigcup H. \\ & \text{\texttt{\end{equation}}} \end{aligned}$$

To make sure that problem (2.1) has a unique solution and to estimate its error, we need the following hypotheses.

Hypothesis (N_1): There exists a constant α independent of h such that

$$\begin{aligned} & \text{\texttt{\begin{equation}}} \\ & \text{\texttt{\label{2.3}}} \\ & a(q_h, q_h) \geq \alpha \|q_h\|_h^2, \hspace{0.5cm} \text{\texttt{\forall}} q_h \in V_h, \\ & \text{\texttt{\end{equation}}} \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} & \text{\texttt{\begin{equation}}} \\ & \text{\texttt{\label{2.4}}} \\ & V_h = \{ q_h \in H_h; \hspace{0.2cm} b_h(q_h, v_h) = 0, \text{\texttt{\forall}} v_h \in M_h \} \\ & = \{ q_h \in H_h; \hspace{0.2cm} \{\operatorname{div}\} q_h = 0 \}. \\ & \text{\texttt{\end{equation}}} \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} & \text{\texttt{\begin{equation}}} \\ & \text{\texttt{\label{2.5}}} \\ & \|q_h\|_h^2 = \sum_{K \in \mathcal{T}_h} (\|q_h\|_{0,K}^2 + \|\{\operatorname{div}\} q_h\|_{-0,K}^2). \\ & \text{\texttt{\end{equation}}} \end{aligned}$$

Hypothesis (N_2): There exists an operator $S_{\pi_h}: H \rightarrow H_h$ such that $\text{\texttt{\forall}} q \in H$,

$$\begin{aligned} & \text{\texttt{\begin{equation}}} \\ & \text{\texttt{\label{2.6}}} \\ & b_h(q - \pi_h q, v_h) = 0, \hspace{0.5cm} \text{\texttt{\forall}} v_h \in M_h. \\ & \text{\texttt{\end{equation}}} \end{aligned}$$

Hypothesis (\$N_3\$): \hspace{0.5cm} When $\forall q \in H^{k+1}(\Omega)^n$, $k \geq 1$,

\begin{equation}

\label{2.7}

$|q - \pi_h q|_{0,\Omega} \leq Ch^{k+1} |q|_{k+1,\Omega}.$

\end{equation}

And $\forall v \in H^{l+1}(\Omega) \cap H^1_0(\Omega)$, l\geq 0

\begin{equation}

\label{2.8}

$\inf_{v_h \in M_h} |v - v_h|_{0,\Omega} \leq Ch^{l+1}$

$|v|_{l+1,\Omega}.$

\end{equation}

Hypothesis (\$N_4\$): \hspace{0.5cm} When $\forall q_h \in V_h$ and $\forall v \in H^{k+2}(\Omega) \cap H^1_0(\Omega)$,

\begin{equation}

\label{2.9}

$\sum_{K \in \mathcal{T}_h} \int_K \partial K q_h \nu \cdot \mathbf{d} s \leq Ch^{k+1}$

$|q_h|_{0,\Omega} |v|_{k+2,\Omega}.$

\end{equation}

Theorem 2.1 \hspace{0.5cm} {\it If $\{\mathbf{r}_m(N_1)\}$ and $\{\mathbf{r}_m(N_2)\}$ all hold, then the problem $\{\mathbf{r}_m(2.1)\}$ has a unique solution $(p_h, u_h) \in \mathbf{H}_h \times M_h$. And if $\{\mathbf{r}_m(N_3)\}$ and $\{\mathbf{r}_m(N_4)\}$ all hold and the solution $(p, u) \in H^{k+1}(\Omega)^n \times H^{k+2}(\Omega)$ of the problem $\{\mathbf{r}_m(1.4)\}$, the following error estimates hold

\begin{equation}

\label{2.10}

$|p - p_h|_{0,\Omega} \leq Ch^{k+1} (|p|_{k+1,\Omega}$

$+ |u|_{k+2,\Omega}),$

\end{equation}

\begin{equation}

\label{2.11}

$|u - u_h|_{0,\Omega} \leq Ch^m (|p|_{k+1,\Omega} + |u|_{k+2,\Omega}).$

\end{equation}

where $m = \min\{l+1, k+1\}.$

Proof. \hspace{0.5cm} From [1] and (N_2) , we obtain the discrete inf-sup condition:

\begin{equation}

\label{2.12}

$\sup_{q_h \in H_h} \frac{b_h(q_h, v_h)}{|q_h|_h}$

$\geq \beta |v_h|_{0,\Omega}, \quad \forall v_h \in M_h.$

\end{equation}

Then, from (2.3), (2.12) and [6], the problem (2.1) has a unique solution. And, from (1.4) and

(2.1), we have

```
\begin{equation}
\label{2.13}
b_h(p-p_h, v_h)=0, \hspace{0.5cm} \forall v_h \in M_h.
\end{equation}
```

Therefore, from (2.5), we have

```
\begin{equation}
\label{2.14}
b_h(\pi_{hp}-p_h, v_h) \leq 0, \hspace{0.5cm} \forall v_h \in M_h.
\end{equation}
```

Thus, $\pi_{hp}-p_h \in V_h$. And because $p = a \nabla u$, from (2.3), (2.6)–(2.9), we have

```
\begin{equation}
\begin{array}{l}
\label{2.15} \\
|\alpha| |\pi_{hp}-p_h|_{L^2(\Omega)}^2 \leq |\alpha| |\pi_{hp}-p_h|_{L^2(\Omega)}^2 \\
& \leq a(\pi_{hp}-p_h, \pi_{hp}-p_h) \\
& = a(\pi_{hp}-p, \pi_{hp}-p_h) + a(p, \pi_{hp}-p_h) \\
& = a(\pi_{hp}-p, \pi_{hp}-p_h) + \sum_{K \in \mathcal{T}_h} \int_K \partial K(\pi_{hp}-p_h) \nu \cdot s \\
& \leq C h^{k+1} (|p|_{L^{k+1}(\Omega)} + |u|_{L^{k+2}(\Omega)}) \\
& \quad |\pi_{hp}-p_h|_{L^2(\Omega)}.
\end{array}
\end{equation}
```

By (2.15) and (2.14), we may get (2.10).

Let $P_h: H^m(\Omega) \rightarrow M_h$ be L^2 -projection, then we have

```
\begin{equation}
\label{2.16}
|u-P_h u|_{L^2(\Omega)} \leq C h^m |u|_{H^m(\Omega)},
\hspace{0.5cm} m = \min\{l, k+1\}.
\end{equation}
```

Let

```
\begin{equation}
\label{2.17}
H_h^* = \{q_h \in H: \hspace{0.2cm} q_h|_K \in RT^k(K) \}.
\end{equation}
```

then, $H_h^* \subset H \cup H_h$. Therefore, by (2.12) with the H_h replaced by H_h^* , and from (2.1) and (1.4), we have

```
\label{2.18}
\begin{equation}
\begin{array}{l}
\begin{array}{l}
|P_h u - u_h|_{L^2(\Omega)} \leq \sup_{q_h \in H_h^*}
\end{array}
\end{array}
```



```

\vspace{0.5cm}
\setlength{\unitlength}{0.1in}
\begin{picture}(16,6)
\put(10,0){\line(1,0){10}}
\put(10,0){\line(1,1){5}}
\put(20,0){\line(-1,1){5}}
\put(10,5){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$p_h$}}}
\put(10.5,1.5){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$B_3$}}}
\put(12,0.2){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$e_3$}}}
\put(18.,1.7){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$B_2$}}}
\put(15,2.5){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$e_2$}}}
\put(15,-2){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$B_1$}}}
\put(17,-0.5){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$e_1$}}}
\put(8,-1){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$A_2$}}}
\put(21,-1){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$A_3$}}}
\put(15,5){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$A_1$}}}
\put(12.5,2.5){\circle*{0.5}}
\put(17.5,2.5){\circle*{0.5}}
\put(15,0){\circle*{0.5}}
\put(30,0){\line(1,0){10}}
\put(30,0){\line(1,1){5}}
\put(40,0){\line(-1,1){5}}
\put(35,2){\circle*{0.5}}
\put(30,4){\makebox(4,2)[l]{\hbox{$u_h$}}}
\put(25,-4.5){\makebox(15,2)[l]{\hbox{\small Fig.1 }}}
\end{picture}

```

```

\vspace{1.5cm}
\hspace{-0.5cm}Then, the condition 2) in the section one is satisfied:
\begin{equation}
\label{3.3}
\int_{\{e\}}(q-\{h|K_i\}_{n_i}+q-\{h|K_j\}_{n_j})p_0ds=0,\hspace{0.2cm}\forall q\in P_0(e),
\end{equation}
where  $e=\partial K_i\bigcap K_j,\hspace{0.2cm}i\neq j$ .

```

Let $\pi_h:H\rightarrow H_h$ such that $\forall q\in H$

```

\begin{equation}
\label{3.4}
b_h(q-\pi_hq,v_h)=0,\hspace{0.5cm}\forall v_h\in M_h.
\end{equation}
Then, from the definition of space  $M_h$ , we only need
\begin{equation}
\label{3.5}

```


$\int_{\partial K} (q - \pi_h q) \, ds = 0, \forall K \in \mathcal{T}_h.$

Therefore, we may obtain

$$\pi_h q|_K = a_1 \lambda_1 + a_2 \lambda_2 + a_3 \lambda_3,$$

where $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ are the barycentric coordinates associated with e_1, e_2, e_3 , and

$$a_1 = \frac{1}{\text{mes}(e_3)} \int_{e_3} q \, ds + \frac{1}{\text{mes}(e_2)} \int_{e_2} q \, ds - \frac{1}{\text{mes}(e_1)} \int_{e_1} q \, ds,$$

$$a_2 = \frac{1}{\text{mes}(e_1)} \int_{e_1} q \, ds + \frac{1}{\text{mes}(e_3)} \int_{e_3} q \, ds - \frac{1}{\text{mes}(e_2)} \int_{e_2} q \, ds,$$

$$a_3 = \frac{1}{\text{mes}(e_2)} \int_{e_2} q \, ds + \frac{1}{\text{mes}(e_1)} \int_{e_1} q \, ds - \frac{1}{\text{mes}(e_3)} \int_{e_3} q \, ds.$$

Thus, (3.4) holds. Let $\pi_K q = \pi_h q|_K$, $\forall K \in \mathcal{T}_h$. Note that $\forall q_1 \in P_1(K)^2$, q_1 may be denoted by

$$q_1 = b_1 \lambda_1 + b_2 \lambda_2 + b_3 \lambda_3.$$

Thanks to the properties of the barycentric coordinates (see [3] or [6]), we have

$$\int_{e_3} q_1 \, ds = \int_0^1 [b_1 \lambda_1 + b_2 (1 - \lambda_1)] \, \text{mes}(e_3) \, d\lambda_1 = (b_1 + b_2)/2,$$

$$\int_{e_2} q_1 \, ds = \int_0^1 [b_1 \lambda_1 + b_3 (1 - \lambda_1)] \, \text{mes}(e_2) \, d\lambda_1 = (b_1 + b_3)/2,$$

$$\int_{e_1} q_1 \, ds = \int_0^1 [b_2 \lambda_2 + b_3 (1 - \lambda_2)] \, \text{mes}(e_1) \, d\lambda_2 = (b_2 + b_3)/2.$$

Taking $q = q_1$ in (3.7)–(3.9), by (3.10)–(3.12) we get $a_1 = b_1$, $a_2 = b_2$ and $a_3 = b_3$,

in other words,

```
\begin{equation}
\label{3.13}
\pi_K q_1 = b_1 \lambda_1 + b_2 \lambda_2 + b_3 \lambda_3 = q_1, \quad \forall q_1 \in P_1(K)^2.
\end{equation}
```

And since $H^2(\Omega) \hookrightarrow C^0(\bar{\Omega})$, by interpolation theory (see [3] or [6]) we have

```
\begin{equation}
\label{3.14}
\|q - \pi_h q\|_{0,K} = \|q - \pi_K q\|_{0,K} \leq C h^2 \|q\|_{2,K}, \quad \{\text{rm if}\} \\
q \in H^2(K)^2.
\end{equation}
```

Therefore, we get

```
\begin{equation}
\label{3.15}
\|q - \pi_h q\|_{0,\Omega} \leq C h^2 \|q\|_{2,\Omega}, \quad \{\text{rm if}\} \quad q \in H^2(\Omega)^2.
\end{equation}
```

If $q_h \in H_h$, then $\{\text{rm{div}}\} q_h|_K \in P_0(K)$. When

```
\begin{equation}
\label{3.16}
b_h(q_h, v_h) = 0, \quad \forall v_h \in M_h,
\end{equation}
```

taking $v_h|_K = \{\text{rm{div}}\} q_h|_K$, one easily gets $\{\text{rm{div}}\} q_h = 0$, i.e.,

```
\begin{equation}
\label{3.17}
\begin{array}{l}
V_h = \{q_h \in H_h; \quad b_h(q_h, v_h) = 0, \\
\forall v_h \in M_h\} \\
& \& \{q_h \in H_h; \quad \{\text{rm{div}}\} q_h = 0\}.
\end{array}
\end{equation}
```

(2.8) is obvious. Thus, (N_1) – (N_3) are satisfied when $l=0$ and $k=1$. In the following we prove that (N_4) (when $k=1$) is satisfied, too. We denote by b_K the "non-conforming bubble function" defined by (see[8])

```
\begin{equation}
\label{3.18}
b_K = 2/3 (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2).
\end{equation}
```

Let

```
\begin{equation}
\label{3.19}
```

$$W_h = \{v_h \in C^0(\bar{\Omega}); \text{ } v_h|_K \in P_2(K), \\ \text{for all } K \in \mathcal{T}_h\},$$

$$\end{equation}$$

$$\begin{equation}$$

$$\text{label}\{3.20\}$$

$$\Phi_h = \{\phi_h; \text{ } \phi_h|_K = \alpha_K b_K, \alpha_K \in \mathbb{R},$$

$$\text{for all } K \in \mathcal{T}_h\}.$$

$$\end{equation}$$

Then $W_h + \Phi_h$ is nothing else than the non-conforming piece wise quadratic approximation (cf.[8]). Define the following spaces

$$\begin{equation}$$

$$\text{label}\{3.21\}$$

$$\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}$$

$$X_h = \{q_h \in L^2(\Omega); \text{ } q_h|_K \in P_1(K), \text{ } \text{for all}$$

$$K \in \mathcal{T}_h, \\$$

$$\text{for all internal edges } e = \partial K_i \cap \partial K_j,$$

$$(i \neq j), \\$$

$$\text{and}$$

$$\int_e (q_h|_{K_i} n_i + q_h|_{K_j} n_j) p_0 \, ds = 0, \text{ } \text{for all } p_0 \in P_0(e),$$

$$\text{and}$$

$$\text{for all internal vertices } M, \\$$

$$\sum_{K \in \mathcal{Q}(M)} \int_K q_h \, \psi_M \, ds = 0\},$$

$$\end{array}$$

$$\end{equation}$$

$$\begin{equation}$$

$$\text{label}\{3.22\}$$

$$X_h^2 = \{q_h; \text{ } q_h|_K = \alpha_K \text{curl } b_K, \text{ } \text{for all } K \in \mathcal{T}_h\},$$

$$\end{equation}$$

$$\begin{equation}$$

$$\text{label}\{3.23\}$$

$$X_h^1 = \{q_h \in H; \text{ } q_h|_K \in \text{BDM}_1(K), \text{ } \text{for all } K \in \mathcal{T}_h\},$$

$$\end{equation}$$

where BDM_1 denotes the lowest degree finite element of Brezzi–Douglas–Marini [9]. Then, thanks to (3.3) and Lemma 2.1 in [2], one easily gets

$$\begin{equation}$$

$$\text{label}\{3.24\}$$

$$H_h \subset X_h = X_h^1 + X_h^2.$$

$$\end{equation}$$

Let $q_h \in V_h$, then, by (3.24) and the fact that any $q_h \in X_h^1$ satisfying $\text{div } q_h = 0$ in Ω is the curl of a stream function $v_h \in W_h$, there exists $w_h \in W_h$ and $\phi_h \in \Phi_h$ such that

$$\begin{equation} \text{label}\{3.25\}$$

$$q_h = \text{curl } w_h + \text{curl } \phi_h.$$

$$\end{equation}$$

where

```
\begin{equation}
\label{3.26}
\left\{ \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right.
\{\rm curl\}w_h&=&(\partial w_h/\partial x_2,-\partial w_h/
\partial x_1),\\
\{\rm curl\}\phi_h&=&\alpha_K\{\rm curl\}b_K,\hspace{0.2cm}
\forall K\in \Im_h.
\end{array}\right.
```

Thus, $\forall q \in H^2(\Omega)^2$,

```
\begin{equation}
\label{3.27}
\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}
\displaystyle \sum_{K \in \Im_h} \int_{\partial K} q_{h,K} \nu \{ \rm d\} s \quad &= & \\
\displaystyle \sum_{K \in \Im_h} & \\
\alpha_K \int_{\partial K} (\{ \rm curl\} b_K) n_K \nu \{ \rm d\} s \quad & \\
&= & \displaystyle \sum_{K \in \Im_h} \alpha_K \int_{\partial K} \\
(\partial b_K / \partial t) \nu \{ \rm d\} s, \\
\end{array}
```

where t denotes the unit tangent to the boundary of K . Note

```
\begin{equation}
\label{3.28}
\int_{\partial K} (\partial b_K / \partial t) p_2 \{ \rm d\} s = 0, \\
\forall p_2 \in P_2(K).
\end{equation}
```

If let $P_2 v$ is the interpolate of v in the W_h , we have

```
\begin{equation}
\label{3.29}
\begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}
\displaystyle \sum_{K \in \Im_h} \int_{\partial K} q_{h,K} \nu \{ \rm d\} s \quad &= & \\
\displaystyle \sum_{K \in \Im_h} \alpha_K \int_{\partial K} & \\
(\partial b_K / \partial t) (v - P_2 v) \{ \rm d\} s \quad & \\
&= & \displaystyle \sum_{K \in \Im_h} \int_{\partial K} q_h \nabla (v - P_2 v) \{ \rm d\} x \quad \\
&\leq & C h^2 |q_h|_{\{0, \Omega\}} |v|_{\{3, \Omega\}}. \\
\end{array}
```

From the above discussion, we see (N.1)–(N.4) all hold. Therefore, we may obtain the following main result.

{\it {\bf Theorem 3.1}}\hspace{0.2cm} Let $(p,u) \in H^2(\Omega)^2 \times H^3(\Omega)$ be the solution of the problem {\rm(1.4)} and (p_h,u_h) the solution of the problem {\rm(2.1)}, then }

\begin{equation}

\label{3.30}

$\|p - p_h\|_{0,\Omega} \leq Ch^2(\|p\|_{2,\Omega} + \|u\|_{3,\Omega}).$

\end{equation}

\begin{equation}

\label{3.31}

$\|u - u_h\|_{0,\Omega} \leq Ch(\|p\|_{2,\Omega} + \|u\|_{3,\Omega}).$

\end{equation}

{\bf Remark:}\hspace{0.2cm} One may prove that the formats in [1] are suitable to Theorem 2.1. Using Theorem 2.1, one may simplify the procedure of proofs in [1]. In comparison with the result in [2], the freedom degrees of our format is the same as those in [2], but our discrete approximation of flux function is one order higher than that in [2].

{\bf Acknowledgment:}\hspace{0.2cm} The author expresses him deep appreciation to his advisors professor Shi Zhongci and professor Liu Ruxun for help on the subject of this paper.

\newcounter{cankao}

\begin{list}

{[\arabic{cankao}]}{\usecounter{cankao}\itemsep=0cm }

\centerline{\bf References}

\vspace*{0.5cm}

\small

\item R.Hiptmair, Nonconforming mixed discretization of second order elliptic problems, Technical University Munchen. Mathematics Institute, M 9404(1994).

\item M. Farhloul, M. Fortin, A nonconforming mixed finite element for second order elliptic problems, {\it Numer. Methods P. D. Eq.}, 13 (1997), 445–457.

\item P. G. Ciarlet, The Finite Method for Elliptic Problems, North-Holland. 1978.

\item P. A. Raviart, J. M. Thomas, A mixed finite elements method for 2 nd order elliptic problems, Lecture Notes in Mathematics, Springer Verlag, Newyork. 606 (1977), 292–315.

\item F. Stummel, The generalized patch test, {\it SIAM J.Numer.Anal.}, 16 (1979), 449–479.

\item Z. D. Luo, Theoretical Bases and Applications for Finite Element Methods and Mixed Finite Element Methods, Evolution and Application, Shan Dong Education Publishing House. Jinan, 1996 (in Chinese).

\item M. Crouzeix, P. A. Raviart, Conforming and nonconforming finite element methods for solving the stationary Stokes equations, {\it RAIRO Anal. Numer.}, 7 (1973), 33–76.

\item M. Fortin, M. Soulie, A non-conforming piece wise quadratic finite element on triangles, {\it Int. J. Numer. Methods, Eng.}, 19 (1983), 505–520.

\item F. Brezzi, J. Douglas, and L. D. Marini, Two families of mixed finite element for second order elliptic problems, {\it Numer. Math.}, 47 (1985), 217–235.

\end{list}

\end{document}

该源文件的排版结果如下页。

METHOD OF NONCONFORMING MIXED FINITE ELEMENT FOR SECOND ORDER ELLIPTIC PROBLEMS^{*1)}

Luo Zhendong

(Department of Mathematics, Capital Normal University, Beijing 100037)

Abstract

In this paper, the method of non-conforming mixed finite element for second order elliptic problems is discussed and a format of real optimal order for the lowest order error estimate.

1991 *Mathematics Subject Classifications*. Primary 65N30, 35Q10

Key words and phrases. non-conforming mixed finite element, error estimate, second order elliptic problems.

1. Introduction

Recently Hiptmair (see[1]) and Farhloul & Fortin (see[2]) have constructed and analyzed some non-conforming finite element mixed methods for second order elliptic problems

$$\begin{cases} -\operatorname{div}(a\nabla u) = f, & x \in \Omega, \\ u = 0, & x \in \partial\Omega, \end{cases} \quad (1.1)$$

where $\Omega \subset R^n$ ($n = 2, 3$) is a bounded open field with Lipschitz continuous boundary $\partial\Omega$, f is a given function of the space $L^2(\Omega)$ and $a \in L^\infty(\Omega)$ is assumed to be uniformly positive and bounded:

$$0 < a_1 \leq a(x) \leq a_2, \quad x \in \bar{\Omega}. \quad (1.2)$$

Introducing the auxiliary variable $p = a\nabla u$, the problems (1.1) may be written as the system:

$$\begin{cases} p - a\nabla u = 0, & x \in \Omega, \\ \operatorname{div} p = -f, & x \in \Omega, \\ u = 0, & x \in \partial\Omega. \end{cases} \quad (1.3)$$

Then the mixed variational formulation of (1.3) is:

Find $(p, u) \in H \times M$ such that

$$\begin{cases} a(p, q) + b(q, u) = 0, & \forall q \in H, \\ b(p, v) = -(f, v), & \forall v \in M. \end{cases} \quad (1.4)$$

*Received November 22, 1996.

1) Project supported by the National Science Foundation of China, the National Science Foundation of Beijing and China Postdoctoral sciences Foundation.

where $H = H(\text{div}; \Omega) = \{q \in L^2(\Omega)^n \mid \text{div} q \in L^2(\Omega)\}$, $M = L^2(\Omega)$, $a(p, q) = (a^{-1}p, q)$, $b(q, v) = (\text{div} q, v)$ and (\cdot, \cdot) is the inner product in $L^2(\Omega)$ or $L^2(\Omega)^n$.

Let \mathfrak{S}_h be a regular triangulation of $\bar{\Omega}$ (cf.[3]) and P_l be the space of polynomials of degrees less or equal to l (where $l \geq 0$ is an integer). The non-conforming discretization of the problem (1.4), constructed in [1] and [2], is to consider two finite-dimensional spaces H_h and M_h such that

1) There is an integer $k \geq 0$ such that $RT^k(\mathfrak{S}_h) \subset H_h$, where $RT^k(\mathfrak{S}_h)$ is the space of vector field arising from k th order Raviart-Thomas elements (see[4]).

2) The moments up to order l ($l \leq k$) of the discrete flux are continuous across inter elements boundaries, i.e.

$$\int_e (q_h|_{K_i} \cdot n_i + q_h|_{K_j} \cdot n_j) p_l ds = 0, \quad \forall p_l \in P_l.$$

for all internal faces $e = \partial K_i \cap \partial K_j$ ($i \neq j$) and all $q_h \in q_h \in H_h$ (where n_i denotes the unite outward normal on ∂K_i).

3) M_h has to satisfy the following condition: if $\forall q_h \in H_h$ and

$$\sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \int_K \text{div} q_h v_h dx = 0, \quad \forall v_h \in M_h,$$

then $\text{div} q_h|_K = 0$, $\forall K \in \mathfrak{S}_h$.

The non-conformity of this discretization is due to the fact that the discrete flux is not necessarily continuous across inter element boundaries. Hiptemair (see[1]) has proved the convergence and given error estimates for this non-conforming mixed finite elements for $k \geq l \geq 1$. His analysis is based so-called "Generalized Patch Test" (cf.[5]). Farhloul & Fortin have derived a non-conforming approximation of the lowest order in the two-dimensional case (see[2]). We have found that Farhloul & Fortin's format is not optimal as the approximation of the flux $p_h|_K \in P_1(K)^2$, $\forall K \in \mathfrak{S}_h$, but its accuracy on L^2 norm is only $O(h)$. One knows that if $H_h \subset L^2(\Omega)^n$, $\forall q_h, p_h \in H_h$, $a(p_h, q_h)$ is continuous. Therefore, the error estimates of non-conforming mixed finite element are due to the estimates causing by bilinear forms $b(\cdot, \cdot)$. But in [1], the estimates of non-conforming element causing by $a(\cdot, \cdot)$ and $b(\cdot, \cdot)$ are all discussed. Thus, much work is in vain because $a(\cdot, \cdot)$ cannot cause the error estimates of non-conforming element.

In this paper, C denotes a positive constant independent of h , but may be inequality in different positions.

2. The Non-conforming Element Analysis

Let $H_h \not\subset H$, M_h be satisfied 1)-2) in the section 1. Then the discrete problem of (1.4) reads as follows:

Find $(p_h, u_h) \in H_h \times M_h$ such that

$$\begin{cases} a(p_h, q_h) + b_h(q_h, u_h) = 0, & \forall q_h \in H_h, \\ b_h(p_h, v_h) = -(f, v_h), & \forall v_h \in M_h, \end{cases} \quad (2.1)$$

where

$$b_h(q, v) = \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \int_K \text{div} q v dx, \quad \forall v \in M, \forall q \in H_h \cup H. \quad (2.2)$$

To make sure that problem (2.1) has a unique solution and to estimate its error, we need the following hypotheses.

Hypothesis (N₁): There exists a constant α independent of h such that

$$a(q_h, q_h) \geq \alpha \|q_h\|_h^2, \quad \forall q_h \in V_h, \quad (2.3)$$

where

$$V_h = \{q_h \in H_h; \ b_h(q_h, v_h) = 0, \forall v_h \in M_h\} = \{q_h \in H_h; \ \operatorname{div} q_h = 0\}. \quad (2.4)$$

and

$$\|q_h\|_h^2 = \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} (\|q_h\|_{0,K}^2 + \|\operatorname{div} q_h\|_{0,K}^2). \quad (2.5)$$

Hypothesis (N₂): There exists an operator $\pi_h : H \rightarrow H_h$ such that $\forall q \in H$,

$$b_h(q - \pi_h q, v_h) = 0, \quad \forall v_h \in M_h. \quad (2.6)$$

Hypothesis (N₃): When $\forall q \in H^{k+1}(\Omega)^n, k \geq 1$,

$$\|q - \pi_h q\|_{0,\Omega} \leq Ch^{k+1} \|q\|_{k+1,\Omega}. \quad (2.7)$$

And $\forall v \in H^{l+1}(\Omega) \cap H_0^1(\Omega), l \geq 0$

$$\inf_{v_h \in M_h} \|v - v_h\|_{0,\Omega} \leq Ch^{l+1} \|v\|_{l+1,\Omega}. \quad (2.8)$$

Hypothesis (N₄): When $\forall q_h \in V_h$ and $\forall v \in H^{k+2}(\Omega) \cap H_0^1(\Omega)$,

$$\sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \int_{\partial K} q_h n v ds \leq Ch^{k+1} \|q_h\|_{0,\Omega} \|v\|_{k+2,\Omega}. \quad (2.9)$$

Theorem 2.1 *If (N₁) and (N₂) all hold, then the problem (2.1) has a unique solution $(p_h, u_h) \in H_h \times M_h$. And if (N₃) and (N₄) all hold and the solution $(p, u) \in H^{k+1}(\Omega)^n \times H^{k+2}(\Omega)$ of the problem (1.4), the following error estimates hold*

$$\|p - p_h\|_{0,\Omega} \leq Ch^{k+1} (\|p\|_{k+1,\Omega} + \|u\|_{k+2,\Omega}), \quad (2.10)$$

$$\|u - u_h\|_{0,\Omega} \leq Ch^m (\|p\|_{k+1,\Omega} + \|u\|_{k+2,\Omega}), \quad (2.11)$$

where $m = \min\{l+1, k+1\}$.

Proof. From [1] and (N₂), we obtain the discrete inf-sup condition:

$$\sup_{q_h \in H_h} \frac{b_h(q_h, v_h)}{\|q_h\|_h} \geq \beta \|v_h\|_{0,\Omega}, \quad \forall v_h \in M_h. \quad (2.12)$$

Then, from (2.3), (2.12) and [6], the problem (2.1) has a unique solution. And, from (1.4) and (2.1), we have

$$b_h(p - p_h, v_h) = 0, \quad \forall v_h \in M_h. \quad (2.13)$$

Therefore, from (2.5), we have

$$b_h(\pi_h p - p_h, v_h) = 0, \quad \forall v_h \in M_h. \quad (2.14)$$

Thus, $\pi_h p - p_h \in V_h$. And because $p = a \nabla u$, from (2.3), (2.6)–(2.9), we have

$$\begin{aligned}
 \alpha \|\pi_h p - p_h\|_{0,\Omega}^2 &= \alpha \|\pi_h p - p_h\|_h^2 \\
 &\leq a(\pi_h p - p_h, \pi_h p - p_h) \\
 &= a(\pi_h p - p, \pi_h p - p_h) + a(p, \pi_h p - p_h) \\
 &= a(\pi_h p - p, \pi_h p - p_h) + \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \int_{\partial K} (\pi_h p - p_h) n u \, ds \\
 &\leq Ch^{k+1} (\|p\|_{k+1,\Omega} + \|u\|_{k+2,\Omega}) \|\pi_h p - p_h\|_{0,\Omega}.
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

By (2.15) and (N_3) , we may get (2.10).

Let $P_h : H^m(\Omega) \rightarrow M_h$ be L^2 -projection, then we have

$$\|u - P_h u\|_{0,\Omega} \leq Ch^m \|u\|_{m,\Omega}, \quad m = \min\{l+1, k+1\}. \tag{2.16}$$

Let

$$H_h^* = \{q_h \in H; \quad q_h|_K \in RT^k(\mathfrak{S}_h)\}. \tag{2.17}$$

then, $H_h^* \subset H \cup H_h$. Therefore, by (2.12) with the H_h replaced by H_h^* , and from (2.1) and (1.4), we have

$$\begin{aligned}
 \|P_h u - u_h\|_{0,\Omega} &\leq \sup_{q_h \in H_h^*} \frac{b_h(q_h, P_h u - u_h)}{\|q_h\|_h} \\
 &= \sup_{q_h \in H_h^*} \frac{b_h(q_h, P_h u - u + u - u_h)}{\|q_h\|_h} \\
 &\leq \|P_h u - u\|_{0,\Omega} + \sup_{q_h \in H_h^*} \frac{a(p_h - p, q_h)}{\|q_h\|_{0,\Omega}} \\
 &\leq C(\|u - P_h u\|_{0,\Omega} + \|p - p_h\|_{0,\Omega}) \\
 &\leq Ch^m (\|u\|_{k+2,\Omega} + \|p\|_{k+1,\Omega}), \quad m = \min\{l+1, k+1\}.
 \end{aligned} \tag{2.18}$$

From (2.16) and (2.18), we may obtain (2.11), which completes the proof of Theorem 2.1.

3. A Lowest Order Non-conforming Element

Let $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ and \mathfrak{S}_h be a regular triangulation of $\bar{\Omega}$ (cf.[3]). For a vertex M , let $Q(M)$ denote the polygon formed by the triangles adjacent to M and let ψ_M be the pyramid function, linear on every triangle of $Q(M)$ such that $\psi_M(M) = 1$, $\psi_M = 0$ outside $Q(M)$. Then non-conforming mixed finite element spaces M_h and H_h of the lowest order element are taken:

$$M_h = \{v_h \in L^2(\Omega); \quad v_h|_K \in P_0(K), \forall K \in \mathfrak{S}_h\}, \tag{3.1}$$

H_h is Crozei-Raviart's space (see[7]), i.e.,

$$\begin{aligned}
 H_h = \{ &q_h \in L^2(\Omega)^2; \quad q_h|_K \in P_1(K), \forall K \in \mathfrak{S}_h, \\
 &\text{for all internal vertices } M, \quad \sum_{K \in Q(M)} \int_{\partial K} q_h n_K \psi_M \, ds = 0\},
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

where the degrees-of-freedom of $P_1(K)$ are taken the middle point B_1, B_2, B_3 of each side e_1, e_2, e_3 on $\partial K = e_1 \cup e_2 \cup e_3$, see Fig.1.

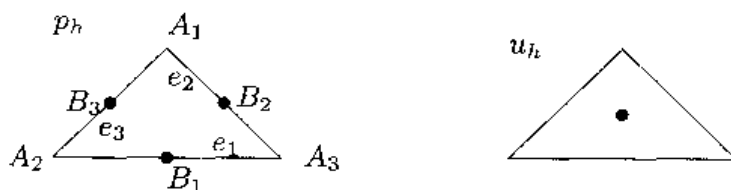


Fig.1

Then, the condition 2) in the section one is satisfied:

$$\int_e (q_{h|K, n_i} - q_{h|K, n_j}) p_0 ds = 0, \quad \forall p_0 \in P_0(e), \quad (3.3)$$

where $e = \partial K_i \cap K_j$, $i \neq j$.

Let $\pi_h : H \rightarrow H_h$ such that $\forall q \in H$

$$b_h(q - \pi_h q, v_h) = 0, \quad \forall v_h \in M_h. \quad (3.4)$$

Then, from the definition of space M_h , we only need

$$\int_{\partial K} (q - \pi_h q) n ds = 0, \quad \forall K \in \mathfrak{T}_h. \quad (3.5)$$

Therefore, we may obtain

$$\pi_h q|_K = a_1 \lambda_1 + a_2 \lambda_2 + a_3 \lambda_3, \quad (3.6)$$

where $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ are the barycentric coordinates associated with by e_1, e_2, e_3 , and

$$a_1 = \frac{1}{\text{mes}(e_3)} \int_{e_3} q ds + \frac{1}{\text{mes}(e_2)} \int_{e_2} q ds - \frac{1}{\text{mes}(e_1)} \int_{e_1} q ds, \quad (3.7)$$

$$a_2 = \frac{1}{\text{mes}(e_1)} \int_{e_1} q ds + \frac{1}{\text{mes}(e_3)} \int_{e_3} q ds - \frac{1}{\text{mes}(e_2)} \int_{e_2} q ds, \quad (3.8)$$

$$a_3 = \frac{1}{\text{mes}(e_2)} \int_{e_2} q ds + \frac{1}{\text{mes}(e_1)} \int_{e_1} q ds - \frac{1}{\text{mes}(e_3)} \int_{e_3} q ds. \quad (3.9)$$

Thus, (3.4) holds. Let $\pi_K q = \pi_h q|_K$, $\forall K \in \mathfrak{T}_h$. Note that $\forall q_1 \in P_1(K)^2$, q_1 may be denoted by

$$q_1 = b_1 \lambda_1 + b_2 \lambda_2 + b_3 \lambda_3.$$

Thanks to the properties of the barycentric coordinates (see [3] or [6]), we have

$$\int_{e_3} q_1 ds = \int_0^1 [b_1 \lambda_1 + b_2(1 - \lambda_1)] \text{mes}(e_3) d\lambda_1 = (b_1 + b_2)/2. \quad (3.10)$$

$$\int_{e_2} q_1 ds = \int_0^1 [b_1 \lambda_1 + b_3(1 - \lambda_1)] \text{mes}(e_2) d\lambda_1 = (b_1 + b_3)/2. \quad (3.11)$$

$$\int_{e_1} q_1 ds = \int_0^1 [b_2 \lambda_2 + b_3(1 - \lambda_2)] \text{mes}(e_1) d\lambda_1 = (b_2 + b_3)/2. \quad (3.12)$$

Taking $q = q_1$ in (3.7)–(3.9), by (3.10)–(3.12) we get $a_1 = b_1$, $a_2 = b_2$ and $a_3 = b_3$, in other words,

$$\pi_K q_1 = b_1 \lambda_1 + b_2 \lambda_2 + b_3 \lambda_3 = q_1, \quad \forall q_1 \in P_1(K)^2. \quad (3.13)$$

And since $H^2(\Omega) \hookrightarrow C^0(\bar{\Omega})$, by interpolation theory (see [3] or [6]) we have

$$\|q - \pi_h q\|_{0,K} = \|q - \pi_K q\|_{0,K} \leq Ch^2 \|q\|_{2,K}, \text{ if } q \in H^2(K)^2. \quad (3.14)$$

Therefore, we get

$$\|q - \pi_h q\|_{0,\Omega} \leq Ch^2 \|q\|_{2,\Omega}, \text{ if } q \in H^2(\Omega)^2. \quad (3.15)$$

If $q_h \in H_h$, then $\text{div} q_{h|K} \in P_0(K)$. When

$$b_h(q_h, v_h) = 0, \quad \forall v_h \in M_h, \quad (3.16)$$

taking $v_{h|K} = \text{div} q_{h|K}$, one easily gets $\text{div} q_h = 0$, i.e.,

$$\begin{aligned} V_h &= \{q_h \in H_h; \ b_h(q_h, v_h) = 0, \ \forall v_h \in M_h\} \\ &= \{q_h \in H_h; \ \text{div} q_h = 0\}. \end{aligned} \quad (3.17)$$

(2.8) is obvious. Thus, (N_1) – (N_3) are satisfied when $l = 0$ and $k = 1$. In the following we prove that (N_4) (when $k = 1$) is satisfied, too. We denote by b_K the “non-conforming bubble function” defined by (see[8])

$$b_K = 2 - 3(\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2). \quad (3.18)$$

Let

$$W_h = \{v_h \in C^0(\bar{\Omega}); \ v_{h|K} \in P_2(K), \forall K \in \mathfrak{T}_h\}, \quad (3.19)$$

$$\Phi_h = \{\phi_h; \ \phi_{h|K} = \alpha_K b_K, \alpha_K \in R, \forall K \in \mathfrak{T}_h\}. \quad (3.20)$$

Then $W_h + \Phi_h$ is nothing else than the non-conforming piece wise quadratic approximation (cf.[8]). Define the following spaces

$$\begin{aligned} X_h = \{ & q_h \in L^2(\Omega)^2; \ q_{h|K} \in P_1(K), \ \forall K \in \mathfrak{T}_h, \\ & \text{for all internal edges } e = \partial K_i \cap \partial K_j, \ (i \neq j), \\ & \int_e (q_{h|K_i} n_i + q_{h|K_j} n_j) p_0 ds = 0, \ \forall p_0 \in P_0(e), \text{ and} \\ & \text{for all internal vertices } M, \ \sum_{K \in Q(M)} \int_{\partial K} q_h n_K \psi_M ds = 0\}, \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$X_h^2 = \{q_h; \ q_{h|K} = \alpha_K \text{curl} b_K, \ \forall K \in \mathfrak{T}_h\}, \quad (3.22)$$

$$X_h^1 = \{q_h \in H; \ q_{h|K} \in BDM_1(K), \ \forall K \in \mathfrak{T}_h\}, \quad (3.23)$$

where BDM_1 denotes the lowest degree finite element of Brezzi–Douglas–Marini [9]. Then, thanks to (3.3) and Lemma 2.1 in [2], one easily gets

$$H_h \subset X_h = X_h^1 + X_h^2. \quad (3.24)$$

Let $q_h \in V_h$, then, by (3.24) and the fact that any $q \in X_h^1$ satisfying $\text{div} q = 0$ in Ω is the curl of a stream function $v_h \in W_h$, there exists $w_h \in W_h$ and $\pi_h \in \Phi_h$ such that

$$q_h = \text{curl} w_h + \text{curl} \phi_h, \quad (3.25)$$

where

$$\begin{cases} \text{curl} w_h &= (\partial w_h / \partial x_2, -\partial w_h / \partial x_1), \\ \text{curl} \phi_{h|K} &= \alpha_K \text{curl} b_K, \ \forall K \in \mathfrak{T}_h. \end{cases} \quad (3.26)$$

Thus, $\forall q \in H^2(\Omega)^2$,

$$\begin{aligned} \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \int_{\partial K} q_h n_K v ds &= \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \alpha_K \int_{\partial K} (\text{curl} b_K) n_K v ds \\ &= \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \alpha_K \int_{\partial K} (\partial b_K / \partial t) v ds, \end{aligned} \quad (3.27)$$

where t denotes the unit tangent to the boundary of K . Note

$$\int_{\partial K} (\partial b_K / \partial t) p_2 ds = 0, \quad \forall p_2 \in P_2(K). \quad (3.28)$$

If let $P_{2h}v$ is the interpolate of v in the W_h , we have

$$\begin{aligned} \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \int_{\partial K} q_h n_K v ds &= \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \alpha_K \int_{\partial K} (\partial b_K / \partial t) (v - P_{2h}v) ds \\ &= \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \int_{\partial K} q_h n_K (v - P_{2h}v) ds \\ &= \sum_{K \in \mathfrak{S}_h} \int_K q_h \nabla (v - P_{2h}v) dx \\ &\leq Ch^2 \|q_h\|_{0,\Omega} |v|_{3,\Omega}. \end{aligned} \quad (3.29)$$

From the above discussion, we see $(N_1)-(N_4)$ all hold. Therefore, we may obtain the following main result.

Theorem 3.1 *Let $(p, u) \in H^2(\Omega)^2 \times H^3(\Omega)$ be the solution of the problem (1.4) and (p_h, u_h) the solution of the problem (2.1), then*

$$\|p - p_h\|_{0,\Omega} \leq Ch^2 (\|p\|_{2,\Omega} + \|u\|_{3,\Omega}). \quad (3.30)$$

$$\|u - u_h\|_{0,\Omega} \leq Ch (\|p\|_{2,\Omega} + \|u\|_{3,\Omega}). \quad (3.31)$$

Remark: One may prove that the formats in [1] are suitable to Theorem 2.1. Using Theorem 2.1, one may simplify the procedure of proofs in [1]. In comparison with the result in [2], the freedom degrees of our format is the same as those in [2], but our discrete approximation of flux function is one order higher than that in [2].

Acknowledgment: The author expresses him deep appreciation to his advisors professor Shi Zhongci and professor Liu Ruxun for help on the subject of this paper.

References

- [1] R. Hiptmair, Nonconforming mixed discretization of second order elliptic problems, Technical University Munchen. Mathematics Institute, M 9404(1994).
- [2] M. Farhloul, M. Fortin, A nonconforming mixed finite element for second order elliptic problems, *Numer. Methods P. D. Eq.*, 13 (1997), 445-457.
- [3] P. G. Ciarlet, The Finite Method for Elliptic Problems, North-Holland, 1978.
- [4] P. A. Raviart, J. M. Thomas, A mixed finite elements method for 2-nd order elliptic problems, *Lecture Notes in Mathematics*, Springer Verlag, Newyork. 606 (1977), 292-315.

-
- [5] F. Stummel, The generalized patch test, *SIAM J. Numer. Anal.*, 16 (1979), 449–479.
 - [6] Z. D. Luo, Theoretical Bases and Applications for Finite Element Methods and Mixed Finite Element Methods, Evolution and Application, Shan Dong Education Publishing House, Jinan, 1996 (in Chinese).
 - [7] M. Crouzeix, P. A. Raviart, Conforming and nonconforming finite element methods for solving the stationary Stokes equations, *RAIRO Anal. Numer.*, 7 (1973), 33–76.
 - [8] M. Fortin, M. Soulie, A non-conforming piece wise quadratic finite element on triangles, *Int. J. Numer. Methods, Eng.*, 19 (1983), 505–520.
 - [9] F. Brezzi, J. Douglas, and L. D. Marini, Two families of mixed finite element for second order elliptic problems, *Numer. Math.*, 47 (1985), 217–235.

参 考 文 献

- [1] Leslie Lamport. LATEX: A Document Preparation System. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, second edition, 1994
- [2] Keith Reckdahl. Using Imported Graphics In LATEX2 ϵ . 1997
- [3] 郭力, 张林波, 葛向阳. CCT 中外文科技激光照排系统用户手册. 北京: 海洋出版社, 1993
- [4] 丁卫星, 赖天树. LATEX 排版软件实用教程. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1993
- [5] D.E.Knuth. The TeXbook. Addison-Wesley Publishing Company, 1987
- [6] D.J.Bucurger. LATEX for Scientist and Engineers. New York: Megraw-Hill Publishing Company, 1990
- [7] 张林波. CCT DOS 版参考手册. 1997